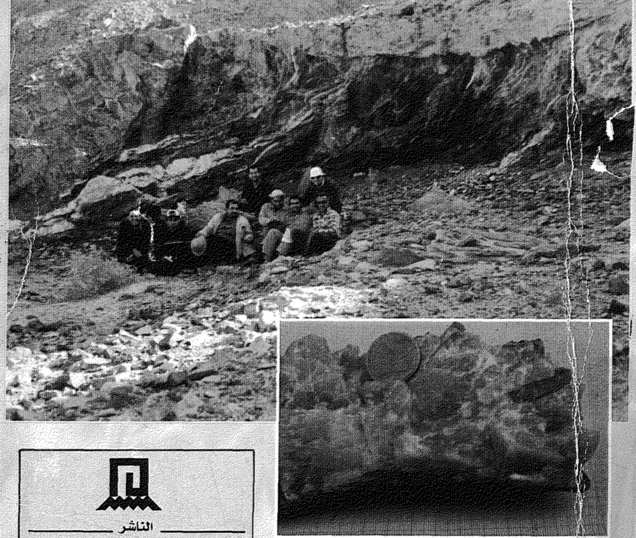
أ.د ممدوح عبد الغفور حسن

مملكة المعادن



الناشر
هبة النيل العربية للنشر والتوزيع
٤٢ أ ش جول جمال - المهندسين
ت : ٣٠٣٦٣٠١



مملكة المعادن

المؤلف
أ.د. ممدوح عبد الغفور حسن

الناشر
هبة النيل العربية للنشر والتوزيع
٤٢ أ ش جول جمال - المهندسين
ت : ٣٠٣٦٣٠١

طبعة مزيدة ومنقحة

القاهرة
٢٠٠٢

* حقوق النشر للطبعة العربية

رقم الإيداع ٢٣٤٨/ ٢٠٠٢

I.S.B.N. 977-5/92-72-2

هبة النيل العربية للنشر والتوزيع
٤٢ أ شارع جول جمال - المهندسين ت : ٣٠٣٦٣٠١
القاهرة
جمهورية مصر العربية

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ وما أوتيتم من العلم إلا قليلا ﴾

« صدق الله العظيم »

كلمة الناشر

لقد وضعت "هيئة النيل العربية للنشر والتوزيع" في مقدمة اهتماماتها نشر الثقافة العلمية والتكنولوجية في مجالاتها المختلفة، ويعد كتاب "مملكة المعادن" هو الثالث الذي تنشره الشركة للسيد الأستاذ الدكتور ممدوح عبد الغفور حسن بعد كتابي "الأسلحة النووية ومعاهدة عدم انتشارها" و الطاقة النووية لخدمة البشرية" الذين تم نشرهما عامي ١٩٩٥ و ١٩٩٦، ونرجو من الله العلي القدير أن يوفقنا لنشر الثقافة في كافة نواحيها واتجاهاتها وذلك لخدمة قراء العربية في كافة الأقطار بلوغا لمستقبل أفضل لمصرنا الحبيبة ووطننا العربي العزيز.

محمد ابراهيم الحمرى



المقدمـــــه

هل فكرت عزيزى القارىء فى مكونات الأرض التى ندب عليهـا؟ مـا هـى المـواد التـى تكـون الجبـال أو التربـة الزراعيـة أو رمـال الشـواطىء والصحارى؟ أو بمعنى أكثر شمولا ما هى المواد التى تكون الجزء الخـارجى من الكرة الأرضية، ذلك الجزء الـذى يبلـغ سمكه فـى المتوسط حوالـى ٢٠ كيلومترا ونعوش على سطحه ونحصـل منـه علـى كل مـا نحتاجـه فـى حياتنـا وبناء حضارتنا ونسميه القشرة الأرضية؟ الإجابـة باختصـار هـى "المعـادن"؛ فالمعادن هى الوحدات الرئيسية التى تتكون منهـا الصخـور، والصخـور هـى المكونات الرئيسة للقشرة الأرضية والتى تشتق منها كل المكونات الأخـرى. وللمعادن مملكة زاخرة لا تقل فى روعتها عن المملكـة الحيوانيـة أو المملكـة النباتية، وسيصحبك هذا الكتاب فى جولـة سريعة داخـل هـذه المملكـة الشيقة للتعرف من خلالها على الكثير من المعـادن وفوائدهـا للإنسـان، مـع ملاحظـة أوليـة وهـى أن مفهومـك للمعـادن عزيـزى القـارىء قـد لا يتفـق مـع المفهـوم الجيولوجى الدقيق؛ ففى لغتنا الدارجة نخلط بين مفهوم المعدن ومفهوم الفلز ونعتبر أن الإثنين شىء واحد، وهما فى الواقع مختلفان، ولذا أردت أن أسوق لـك هـذه الملاحظـة فـى البدايـة حتـى أثـير انتبـاهك لتوضيـح الفـرق بيـن المفهومين، على أنى سأرجىء مناقشة هذا الأمر إلى الفصل الأول من الكتـاب حتى تتـاح لـى الفرصـة لعرض بعض المعلومـات الأوليـة اللازمـة لتوضيـح المفهومين، وأعتقد عزيزى القـارىء أنـك ستعيد قـراءة هذه المقدمـة بعـد أن يوضـح لـك الفصـل الأول أهميـة الفرق بيـن المعدن والفلز فـى الاسـتخدام

الجيولوجي الدقيق والذى يجب أن يسود على الاستخدام الدارج، أو على الأقل يعيه جيدا كل من يستخدم كلمتى معدن وفلز لكى يوضح المعنى الـذى يقصـده من كل كلمة. وستلاحظ عزيـزى القـارىء أن عنـاوين فصـول الكتـاب تركـز على استخدام كلمة معدن فى مواضع مختلفة، ومـا ذلـك إلا محاولـة لترسـيخ مفهوم المعدن الصحيح فى مواجهة المفهوم الدارج الذى يؤدى إلى الالتبـاس الشديد عند مناقشة كثير من المواضيع الجيولوجية، ولتعلم عزيـزى القـارىء أنى جيولوجـى، والمعـادن لهـا منزلـة خاصـة عنـدى، ولا شـك أنهـا سـتحظى بنفس المنزلة لديك أيضا بعد قراءتك لهذا الكتاب، أو على الأقل هذا ما أصبو إليه، وليس هذا انطلاقا من عاطفة خاصة منى نحو المعـادن، ولكـن انطلاقـا من الأهمية القصوى للمعادن فى حياتنا.

وتنبع هذه الأهمية القصوى للمعادن من أن حيـاة الإنسـان علـى سـطح القشـرة الأرضيـة ترتبـط ارتباطـا وثيقـا بالمعـادن ومشـتقاتها المختلفـة، فمنـذ ظهور الإنسان على الأرض وهو يستخدم المعادن بصـورة متزايدة، ولعـل أول استخدام الإنسان للمعادن كان عندمـا التقـط أحـد أجدادنـا القدمـاء حجـرا مـن الأرض ثم طوحه فى اتجاه حيوان أراد صيده، ثم قام بعد ذلك بصنـع بعـض الأدوات البسيطة من تلك الحجارة بعد أن تعلم كيف يشذبها ويشـحذها حسـب احتياجاتـه المختلفـة. وبتوالـى استعماله للأحجـار المتنوعـة تـم لـه اكتشـاف الأحجار الكريمة بألوانها الزاهيـة وخصائصـهـا المميزة الأخـرى، وزاد ذلـك مـن اهتمامـه بالأحجـار والبحـث عنهـا واقتنائهـا. وعندمـا اكتشـف الإنسـان الفلزات وكيفية استخلاصها من معادنها وركازاتها وبـدأ يصنـع منهـا أدواتـه، زاد تقديره للمعادن وسعيه وراءها وأدى ذلك إلى تطـور الحضـارات تطـورا

كبيرا مرتبطا ارتباطا وثيقا بالمعادن والفلزات التى تشتق منها ابتداء من العصر الحجرى إلى عصر الذرة وارتياد الفضاء، وهو ما نعيشه حاليا. وإذا ما رجعنا إلى التاريخ البشرى نجد أن المعادن كان لها الأثر الكبير فى تحريك عجلة التاريخ وقيام حضارات وسقوط أخرى وتغيير مجريات الأحداث فى مراحل كثيرة. ولقد كان البحث عن المعادن ومحاولة امتلاك مصادرها من الأسباب الرئيسية لتعمير أراض شاسعة مثل أمريكا واستراليا ولشن الحروب والغزوات، كما أنها كانت من الأسباب الرئيسية لاستعمار الرجل الأبيض للقارة الإفريقية وما تعانيه هذه القارة من ويلات حتى الآن.

وإذا تأملنا الأنشطة الإنسانية المختلفة وجدنا جميعها تعتمد على المعادن فى صورة أو أخرى، مباشرة أو غير مباشرة، وكذلك على المشتقات المتنوعة التى نحصل عليها من هذه المعادن؛ فلولا معادن الحديد لما استطاع الإنسان أن يدخل عصر البخار، ولولا معادن النحاس لما دخل الإنسان عصر الكهرباء، ولولا معادن اليورانيوم لما دخل الإنسان عصر الذرة؛ فكل هذه الفلزات من مشتقات المعادن، وحلم الإنسان فى غزو الكواكب الأخرى وإطلاق المحطات المدارية لن يكون من الممكن تحقيقه دون الاعتماد الأساسى على المعادن المختلفة ومشتقاتها فى صناعة الأجهزة والآلات المعقدة مثل أشعة الليزر والبطاريات الشمسية وخلايا الترانزيستور الدقيقة. وإذا ما أجلنا البصر فى حياتنا اليومية العادية لوجدنا أننا نتعامل مع المعادن ومشتقاتها فى كل لحظة؛ فالسيارة والقطار والطائرة ومواد البناء مثل الأسمنت والجير والرمل، وكذلك المواد الأولية التى تستخدم فى الصناعات المختلفة مثل الكبريت والأملاح والأسمدة كلها مصنعة من خامات معدنية.

إذن فالثروة المعدنية لأى دولة وطريقة استغلالها لهذه الثروة يشكل الدعامة الأساسية لتقدمها، وأحد المعايير الهامة لمدى قوتها ومركزها بين الأمم؛ فالدول التى تملك المصادر المعدنية يمكن لها أن تقيم الصناعات المختلفة وتسير فى طريق التقدم التكنولوجى، أما تلك الدول التى حرمت من مصادر الثروة المعدنية فليس أمامها إلا الاعتماد على الزراعة أو الصناعات الحرفية أو التجارة. ومع ذلك فامتلاك الثروة المعدنية وحده لا يكفى بل لا بد من معرفة كيفية استغلال تلك المصادر على أكمل وجه ممكن.

من كل ذلك يتبين لنا الأهمية القصوى للمعادن فى حياة الإنسان، والطلب المتزايد عليها يوما بعد يوم، ولهذا كان هذا الكتاب الذى يعرض بعض الجوانب الهامة لمملكة المعادن بصورة مبسطة يستطيع القارىء غير المتخصص أن يتابعها.

والمنهج الذى سيتبع فى هذا الكتاب هو البدء ببعض المعلومات الأساسية الأولية عن المعادن والتعريف بها، مع التركيز على توضيح مفهومىْ المعدن والفلز والعلاقة بينهما، بعد ذلك يتناول الكتاب استخدامات المعادن ويفصلها فى جانبين رئيسيين هما الاستخدامات الفلزية أولا ثم الاستخدامات اللافلزية ثانيا، وسيتم شرح المعنى المقصود من كل نوع من هذه الاستخدامات قبل استعراضها. وقد اعتمد الكتاب على خلفية المؤلف كجيولوجى يعمل فى مجالات المعادن والصخور والجيولوجيا الاقتصادية وكذلك على العديد من المراجع العربية والانجليزية والتى ذكرت فى آخر الكتاب. أما إحصائيات الاحتياطيات والإنتاج والاستهلاك والأسعار فقد كانت

أحدث المراجع المتاحة أثناء إعداد الكتاب عن عام ١٩٨٧ إلا فى حالات قليلة، وعلى العموم فالكتاب يختص بالجوانب العلمية التطبيقية للمعادن وليس بالجوانب الاقتصادية والتسويقية. وإننى إذ أقدم هذا الكتاب لقراء العربية لأرجو أن يكون ذا نفع للقارىء ويسعدنى أن أتلقى أى نقد أو توجيه من القراء الأعزاء لوضعه فى الاعتبار إذا شاء الله أن تصدر للكتاب طبعات تالية،

وبالله التوفيق.

ممدوح عبد الغفور حسن

ا

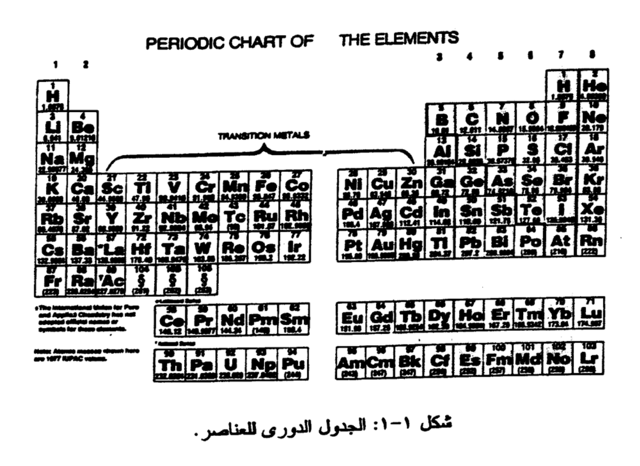
الفصـــــل الأول

المعـــادن وخصائصهـــا

نبدأ جولتنا فى مملكة المعادن بهذا الفصل الافتتاحى لنكشف فيه عن ماهية تلك المملكة، وننظر إليها نظرة شاملة وعامة نستعرض فيها بعض المفاهيم الأساسية التى هى بمثابة وسائل المواصلات التى ستأخذنا فى جولتنا خلالها، أو بمثابة المفاتيح التى سنستخدمها لفتح أبوابها، ونتجول بعد ذلك فى أرجاء تلك المملكة من خلال الفصول التالية.

العنصر والمركب:

يقول لنا علم الكيمياء أن أى مادة فى الكون هى إما عنصر element أو مركب compound. والعنصر هو المادة التى لا يمكن تحليلها إلى مواد أبسط منها، فكل ذراتها من نوع واحد فقط، أما المركب فتتكون جزيئاته من التحام عدد من الذرات المختلفة، إثنين أو أكثر، بحيث يمكن تحليله أو تفكيكه إلى عناصره حسب عدد الذرات المختلفة التى تكونه. مثال ذلك الماء الذى يتكون من اتحاد ذرتين من الإيدروجين مع ذرة واحدة من الأكسجين. نستطيع أن نقول إذن أن العنصر يتكون من ذرات من نوع واحد فقط أما المركب فهو يتكون من جزيئات كل جزىء يتكون بدوره من التحام ذرات مختلفة، إثنين أو أكثر. ومن التعاون بين علمى الكيمياء والفلك تبين لنا أن عناصر الكون كله هى ٩٢ عنصر فقط، أما المركبات فلا حصر لها. وقد توصل علماء الكيمياء إلى ترتيب هذه العناصر ال ٩٢ فى جدول يعرف باسم الجدول الدورى للعناصر periodic table of elements (شكل ١-١)، وفى هذا الترتيب يعطى كل عنصر رقما مسلسلا ابتداء من العنصر رقم ١



شكل ١-١: الجدول الدورى للعناصر.

وهوالإيدروجين إلى العنصر رقم ٩٢ وهو اليورانيوم. وهذا الترتيب ليس كيفما اتفق، ولكن الرقم الذى يتخذه العنصر هو فى الحقيقة عدد البروتونات الموجودة فى نواته، وهذا العدد من البروتونات هو الذى يحدد هوية العنصر كرقم بطاقته الشخصية. فإذا قلنا العنصر رقم ٢٦ نجد أنه الحديد لأن نواة ذرته تحتوى على ٢٦ بروتونا، وإذا قلنا العنصر الذى يحتل الموقع التاسع والسبعين فى الجدول الدورى نجد أنه الذهب لأن نواته تحتوى على ٧٩ بروتونا. والبروتون يحمل شحنة كهربية موجبة، ولذلك يجب أن تحاط نواة أى ذرة بعدد من الإلكترونات يساوى عدد البروتونات التى تحتل النواة حيث يحمل كل منها شحنة كهربائية سالبة حتى تكون الذرة فى مجموعها متعادلة كهربيا. وقد تفقد الذرة أو تقتنص إلكترونا أو أكثر دون أن تغير من هويتها، ولكنها فقط تصبح غير متعادلة كهربيا وفى هذه الحالة تسمى أيونا موجبا فى حالة الفقد أو أيونا سالبا فى حالة الاقتناص، فمثلا يمكن لذرة الحديد أن تفقد إلكترونين وتصبح بذلك أيونا يحمل شحنتين موجبتين ويطلق عليه اسم أيون الحديدوز الذى يكتسب نشاطا كيميائيا يسمح له بالتفاعل مع أيونات أخرى، أو قد تفقد ذرة الحديد ثلاثة إلكترونات فتصبح لها ثلاثة شحنات موجبة وتسمى فى هذه الحالة أيون الحديديك، ولذا يقال أن للحديد حالتين أيونيتين. وكل التفاعلات الكيميائية بين العناصر تتم من خلال فقد واقتناص الإلكترونات بينها أو الاشتراك فى الإلكترونات وتبادلها. أما البروتونات فإن فقدها أو اقتناصها أمر فى منتهى الصعوبة ولا يتم إلا تحت ظروف محكمة صعبة التحقيق، لأن ذلك يعنى تغيير هوية العنصر، فمثلا إذا فقدت ذرة الحديد بروتونا من نواتها أصبح رقمها الذرى ٢٥ أى أصبحت ذرة منجنيز لأن المنجنيز يسبق الحديد مباشرة فى الجدول الدورى للعناصر، أما إذا اقتنصت ذرة الحديد بروتونا أصبح رقم بطاقتها الشخصية ٢٧ أى تحولت

إلى ذرة الكوبالت الذى يلى الحديد مباشرة فى الجدول الدورى للعناصر، ولهذا يعرف عدد البروتونات فى ذرة العنصر بالرقم الذرى لهذا العنصر.

ويمكن تقسيم جميع العناصر فى الجدول الدورى إلى عناصر فلزية وتشمل ٦٨عنصرا فلزيا، وعناصر غير فلزية وتشمل ١٨ عنصرا، و ٦ عناصر أطلق عليها اسم أشباه الفلزات، حيث أنها تجمع بعض الصفات الفلزية واللافلزية، وتتصرف كيميائيا كفلزات فى بعض المواقف وكلافلزات فى مواقف أخرى، مع ملاحظة عدم وجود اتفاق شامل بين المراجع المختلفة بخصوص أشباه الفلزات، فمثلا تعتبر بعض المراجع أن السيليكون من الفلزات، بينما تعتبر مراجع أخرى أن السيليكون من أشباه الفلزات، ونفس الشىء ينطبق على البزموت، ولكن المتبع فى هذا الكتاب هو ما ذكر فى أول هذه الفقرة. وعلى هذا سنقسم جولتنا فى مملكة المعادن إلى خطين رئيسيين: الأول هو استكشاف فائدة المعادن كمصدر للفلزات، والثانى هو الاستخدامات الأخرى للمعادن التى تشمل استخلاص مواد أخرى غير الفلزات أو استخدام المعادن نفسها فى مختلف الأغراض الصناعية، وسنتعرض لأشباه الفلزات فى نهاية جولتنا بين الفلزات.

وأهم ما يميز الفلزات metals، مثل الحديد والنحاس والقصدير والذهب، جودة توصيلها للحرارة والكهرباء وكثير من الخصائص الأخرى مثل البريق والثقل النوعى العالى وقابليتها للطرق والسحب وسهولة انصهارها فى درجات حرارة مرتفعة وقابليتها لتكوين سبائك مع بعضها وخصائص كيميائية أخرى تخرج عن نطاق هذا الكتاب، وذلك بعكس اللافلزات nonmetals مثل الكبريت والكربون واليود التى ليس لها تلك الخصائص وتتميز بخصائص أخرى. كذلك يمكن تمييز المركبات إلى فلزية أو لافلزية حسب تشابه خواصها مع خواص الفلزات أو مع خواص

اللافلزات. و كلمة "معدن " التى ترادفها فى اللغة الانجليزية كلمة mineral تستخدم فى لغتنا الدارجة بمعنى "فلز" metal، كما تطلق صفة معدنى على المواد التى لها خصائص فلزية metallic، وقد يكون هذا مقبولا من الناحية العامة، ولكن فى الاصطلاح الجيولوجى هناك فرق كبير جدا بين معدن وفلز، ومعدنى وفلزى، ويجب توضيح هذا اللبس جيدا قبل أن نخطو أول خطوة فى مملكة المعادن.

تعريف المعدن:

لاحظ الإنسان منذ بداية حياته على الأرض أن هناك موادا يعثر عليها فى الطبيعة لها أشكال هندسية منتظمة وجميلة، ومنها ما يتميز بألوان زاهية أو ببريق ملفت أو بخصائص أخرى لها تقدير خاص، وكلما ازداد جمال هذه المواد كلما ازدادت ندرتها وصعوبة الحصول عليها، فأطلق عليها أسماء خاصة تمييزا لها عن باقى الأحجار العادية التى يجدها بسهولة وليس لها جمالا خاصا وكان يستخدمها كأدوات بعد شحذها وتهذيبها، وقد تطورت هذه الأسماء مع الزمن حتى أصبحت تعرف حاليا باسم الأحجار الكريمة gemstones. ومن خلال سعيه وراء تلك الأحجار الكريمة ومن خلال فضوله وحبه للمعرفة واكتشاف أسرار الطبيعة، وجد أن مادة الأحجار الكريمة قد توجد فى الطبيعة فى صور أخرى ليست لها الأشكال الهندسية ولا الخصائص الجمالية الأخرى، كذلك وجد أن معظم المواد التى تكون الأرض يمكن أن تكون لها أشكالا هندسية منتظمة مثل الأحجار الكريمة، فانكب على دراسة تلك المواد وتصنيفها واستكشاف خواصها وأماكن تواجدها وكيفية العثور عليها خاصة بعد أن وجد لها فوائد جمة مثل استخلاص الفلزات. وهكذا نشأ فرع من فروع المعرفة يختص بدراسة مواد

الأرض، وأطلق على هذه المواد اسم المعادن minerals تعبيرا عن وجود صفة ما تربط هذه المواد كلها، ولكنها صفة كان لا يمكن تحديدها بدقة. وبتطور العلم واختراع كثير من التقنيات التى استخدمت فى دراسة المعادن تبين أن الصفة المشتركة بين كل مواد الأرض التى تكون أشكال هندسية منتظمة هى بنائها الذرى المنتظم، أو بمعنى آخر انتظام جميع الذرات التى تكون المعدن فى ترتيب منتظم محكم، سواء كانت من نوع واحد أو من أنواع متعددة، بمعنى آخر سواء كان المعدن عنصرا أو كان مركبا، ويختلف هذا الترتيب من معدن إلى آخر، وهو السبب فى اكتساب المعدن للأشكال الهندسية المنتظمة، بل هو أيضا الذى يتحكم فى كل خصائص المعدن الأخرى، ومن هنا بدأت تأخذ دراسة المعادن منحى خاصا بها وأصبحت هذه الدراسة علما قائما بذاته يعرف بعلم المعادن mineralogy، وكان لابد لعلماء المعادن من وضع تعريف محدد ومحكم لما هو المعدن لكى يتحدد بالضبط مجال دراسة هذا العلم، فعُرِّف المعدن على أنه: **أى مادة صلبة متجانسة تكونت بفعل عوامل طبيعية غير عضوية لها تركيب كيميائى محدد وليس ثابتا ولها بناء ذرى منتظم.** أى أننا لا نطلق تعبير معدن على أى مادة إلا إذا توافرت فيها الشروط الآتية، وأى مادة تفقد واحدا من هذه الشروط لا تعتبر معدنا:

١- مادة صلبة متجانسة؛ أى أن جميع أجزائها متشابهة.

٢- تكونت بفعل عوامل طبيعية ليس للكائنات الحية دخل فيها، وعلى هذا فإن كل المركبات الصناعية لا تعتبر معادنا، حتى لو تطابقت معها فى جميع خصائصها الأخرى، كذلك فإن البترول والفحم واللؤلؤ والمرجان ليست معادنا لأنها تكونت بفعل عوامل عضوية.

٣- لها تركيب كيميائى محدد بمعنى أنه يتغير فى إطار ضيق ولكنه ليس ثابتا، ومن الطبيعى جدا أن تختلف العينات المختلفة لنفس المعدن فى تركيبها الكيميائى فى إطار محدد.

٣- لها تركيب كيميائى محدد أى يتغير

٤- لها بناء ذرى منتظم ومميز؛ أى أن الذرات المكونة للمعدن سواء أكان عنصرا أو مركبا تنتظم فى ترتيب محدد وثابت لكل عينات المعدن بغض النظر عن طريقة تكونه أو مكانه، وهذه أهم خاصية للمعدن، وهى بمثابة بصمته أو هويته الشخصية، إضافة إلى أن هذا الترتيب هو الذى يحكم كل خصائص المعدن الطبيعية و الكيميائية، بل ويحكم أيضا طريقة تكونه وكيفية تفاعله مع الوسط المحيط به، وينعكس هذا البناء الذرى المنتظم فى الشكل الخارجى للمعدن على هيئة بلورات منتظمة الشكل، فكل معدن يتميز ببضعة أشكال بلورية خاصة به. وأروع مثال على ذلك الجرافيت، أقل مواد الأرض صلادة، والماس أكثر مواد الأرض صلادة، فكلاهما يتكون من نفس العنصر وهو الكربون، والفرق بينهما هو الترتيب البنائى لذرات الكربون الذى يؤدى إلى هذا التباين الشديد فى الخواص.

ومع هذا، فهناك مواد أخرى تصاحب المعادن فى الطبيعة ولها نفس أهميتها، الا أنها تفتقر إلى البناء الذرى المنتظم ولا يمكن اعتبارها معادن حسب التعريف الذى وضعناه، ولذلك سميت أشباه المعادن **mineraloids**، ولكن لأهمية هذه المواد فإننا نعاملها معاملة المعادن، بل إن البعض يعتبرونها تجاوزا معادنا أيضا، ومن أمثلتها العقيق والمغرة (أكاسيد حديد مائية) والزجاج الصخرى.

تقسيم المعادن:

كان ابن سينا هو أول من خطا الخطوة الأولى نحو تقسيم المعادن التقسيم العلمى السليم الذى نسير عليه الآن؛ فقد قسم المعادن المعروفة فى عصره من حيث تركيبها الكيميائى إلى أربعة أقسام هى المعادن الكبريتية والأملاح والمعادن الأرضية والفلزات. ثم أضيفت أقسام أخرى بالتوالى حسب اكتشاف المزيد من المعادن حتى وصلنا إلى التقسيم الحالى الذى يصنف المعادن أولا حسب تركيبها الكيميائى العام إلى أقسام ثم يصنف كل قسم بعد ذلك إلى مجموعات حسب بنائها الذرى. وتشمل الأقسام الكيميائية للمعادن ما يلى:

١- العناصر الطليقة native elements: وهى العناصر التى تتواجد فى الطبيعة وتحقق شروط تعريف المعدن، ومنها عناصر فلزية مثل الذهب والبلاتين والفضة، ومنها عناصر لا فلزية مثل الكبريت والجرافيت والماس.

٢- الأكاسيد oxides: وتتكون من اتحاد فلز أو أكثر بالأكسجين، ومن أمثلتها الماجنيتيت magnetite Fe_3O_4 أو حجر المغناطيس وهو من المصادر الرئيسية للحديد، والكاسيتيريت cassiterite SnO_2 وهو المصدر الرئيسى للقصدير، والكروميت chromite Cr_2FeO_4، وهو المصدر الوحيد للكروم، وفى بعض هذه المعادن يدخل الماء ضمن التركيب الكيميائى.

٣- معادن الكبريتيدات sulphide minerals: وهى ما أطلق عليها ابن سينا المعادن الكبريتية، ويتكون كل واحد منها من اتحاد الكبريت مع أحد الفلزات، وأحيانا مع فلزين، وتضم المعادن التى تعتبر المصادر الرئيسية لكثير من الفلزات مثل الكالكوبيريت chalcopyrite $CuFeS_2$ المصدر الرئيسى

للنحاس، و الجالينا PbS galena المصدر الرئيسى للرصاص والسفاليريت ZnS sphalerite المصدر الرئيسي للزنك. وتُضَم إلى هذا القسم معادن مشابهة يحل فيها الزرنيخ أو الأنتيمون أو البزموت محل الكبريت وتسمى الزرنيخات أو الأنتيمونات أو البزموتات، كذلك تضم إلى نفس القسم معادن أخرى أشد تعقيدا فى تركيبها حيث تحتوى على واحد أو أكثر من أشباه الفلزات بالإضافة إلى الكبريت والفلزات، وتسمى هذه المعادن بالأملاح الكبريتية sulphosalts وهى أقل شيوعا من الكبريتيدات.

٤- الكربونات carbonates: وهى أملاح حامض الكربونيك الذى يتكون من إذابة ثانى أكسيد الكربون فى الماء، وأهم هذه المعادن هو الكالسيت $CaCO_3$ calcite الذى يتكون من كربونات الكالسيوم، وهو المعدن الذى يكون الحجر الجيرى.

٥- الهاليدات halides: وتشمل الفلوريدات والكلوريدات والبروميدات والأيوديدات، وأهم هذه المعادن ملح الطعام ويسمى الهاليت halite، وقرينه السيلفيت sylvite وهما كلوريد الصوديوم وكلوريد البوتاسيوم على التوالى، والفلوريت fluorite ويتكون من فلوريد الكالسيوم CaF_2.

٦- الأملاح الأخرى: وتشمل أقسام أخرى من الأملاح أهمها الكبريتات والفوسفات والكرومات والبورات والنيترات وغيرها.

٧- السليكات silicates: وهى أكثر المعادن شيوعا فى القشرة الأرضية وتكون ما يزيد عن ٩٠٪ من صخورها، وأهم عناصر هذه المعادن هى الأكسجين والسليكون فى المقام الأول ثم الألومنيوم والحديد والمغنسيوم والكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم.

خصائص المعادن:

قسم علماء المعادن خصائصها إلى نوعين هما الخصائص الفيزيائية والخصائص الكيميائية. يقصد بالأولى الخصائص التي تتعلق باستجابة المعدن للمؤثرات الخارجية دون أن يحدث له أي تغير كيميائي، مثل درجة الانصهار والصلادة وجودة التوصيل للحرارة، أما الثانية فتتعلق بالمؤثرات التي ينشأ عنها تغير في التركيب الكيميائي للمعدن مثل الأكسدة أو تفاعل المعدن مع الأحماض. وتعتمد استخدامات المعادن وفوائدها على هذه الخصائص، وكلما فهمنا خصائص المعادن أكثر كلما استطعنا تسخير هذه المعادن لخدمتنا بصورة أفضل، فالمعادن التي تتأثر بسهولة بالأحماض المخففة يمكن استخلاص الفلزات منها بصورة اقتصادية، والمعادن ذات الصلادة العالية تستخدم في مساحيق الجلخ والصنفرة، والمعادن المقاومة للحرارة تستخدم كعوازل حرارية، وهكذا. إذن ما يحدد فائدة المعدن للإنسان هي خصائصه الفيزيائية والكيميائية، وكلما تعمقنا في معرفة هذه الخصائص كلما زادت قدرتنا على الاستفادة منها. بالإضافة إلى ذلك فإننا نستخدم هذه الخصائص في التعرف على المعادن وتمييزها عن بعضها، لذلك سنتعرض إلى تعريف خصائص المعادن حتى نستطيع متابعتها بعد ذلك عند التحدث عن المعادن المختلفة في الفصول التالية.

الخصائص الفيزيائية للمعادن:

في بداية الحديث عن خصائص المعادن نكرر حقيقة هامة وهي أن البناء الذري الداخلي هو المتحكم الرئيسي في كل خصائص المعادن، ولذلك ينصب الاهتمام الأول في دراسة المعادن على فهم بنائها الذري ومنه نستطيع فهم كل الخصائص الأخرى وفهم استجابة المعادن للمؤثرات

الخارجية، وهذا له أهمية كبرى فى التخطيط لاستغلال المعادن والاستفادة منها، سواء استخدامها كما هى أو بعد معالجتها لاستخلاص بعض مكوناتها مثل الفلزات.

١- الشكل البلورى:

لكل معدن شكل أو عدة أشكال بلورية مميزة، وعند اكتمال هذه الأشكال فإنها تكتسب جمالا خاصا، ربما كان مما استرعى شغف الإنسان الأول، خاصة إذا اقترن بلون جميل كما فى بعض الأحجار الكريمة. ولكن الأشكال البلورية المكتملة نادرة، فالمعادن غالبا ما توجد على هيئة أشكال غير منتظمة أو على هيئة بلورات غير مكتملة، ولذلك يسعى هواة المعادن إلى الحصول على عينات من البلورات المكتملة أو اقتنائها عن طريق الشراء والتبادل مع الآخرين، كذلك تتفنن المتاحف الجيولوجية فى عرض عينات ذات صفة جمالية للمعادن المختلفة، وربما يعطى ذلك انطباعا لغير المتخصصين بأن المعادن أشياء نادرة وأن فوائدها لا تتعدى صالات العرض، ولكن الواقع غير ذلك، فالتراب مثلا يتكون من مجموعة كبيرة من المعادن التى تتميز بدقة حجم بلوراتها وتسمى معادن الطفلة clay minerals أو المعادن الطينية وفهم هذه المعادن من الأمور الأساسية فى العلوم الزراعية وخاصة ما يتعلق بالتربة، ومعظم خامات الفلزات تتكون من معادن لا تظهر فيها أشكالها البلورية الجميلة، ولكن هذا لا يمنع ظهور أشكالها البلورية بالمجهر أو بالعدسات المكبرة، أو باستخدام أشعة إكس. كذلك قد يتخذ المعدن أشكالا خاصة مميزة، منها الإبرى أو الليفى مثل معادن الأسبستوس، أو المظهر الصفائحى مثل معادن الميكا، وهذه أيضا تعكس البناء الذرى للمعدن، بل وتعين على التعرف عليه. وبما أن الشكل البلورى

الخارجى للمعدن هو أحد خصائصه التى تعتمد اعتمادا مباشرا على بنائه الداخلى، كانت دراسة البلورات من الدراسات الأساسية فى علم المعادن وتعتبر بمثابة الخطوة الأولى التى لا غنى عنها فى هذا العلم، وهناك فرع مستقل من فروع علم المعادن يسمى علم البلورات crystallography، ويختص بدراسة الأشكال البلورية وعناصر تماثلها وعلاقتها بالترتيب الذرى للمواد المتبلورة بصفة عامة. ولذا كان من الضرورى أن نبدأ دراستنا لخواص المعادن بنبذة عن علم البلورات.

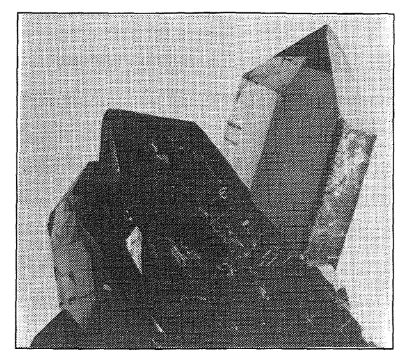
نبدأ هذه النبذة فى علم البلورات بتقسيم المواد الصلبة إلى نوعين: المواد المتبلورة والمواد غير المتبلورة؛ فالمواد المتبلورة crystalline تنتظم ذراتها وأيوناتها فى نظام محكم ومميز لهذه المادة، أما إذا تكونت المادة من ذرات وجزيئات متشابكة مع بعضها بغير نظام فالمادة غير متبلورة non-crystalline وليس لها شكل بلورى. وعلى ذلك وحسب تعريفنا للمعدن ، فإن كل المعادن متبلورة، ولكن ليس كل مادة متبلورة معدنا، فقد تكون تلك المادة المتبلورة مادة عضوية مثل السكر أو تكون من صنع الإنسان مثل بعض الأملاح. ولذلك أيضا نطلق على المواد غير المتبلورة والتى تصاحب المعادن فى الطبيعة تعبير أشباه المعادن. ويختص علم البلورات بجميع المواد المتبلورة، سواء أكانت معادنا أم لا.

ومن خصائص المواد المتبلورة أنها تنمو على هيئة بلورات (شكل ١-٢)، وربما شهد الكثيرون منا تكوين بلورات السكر عند تبخير محلول مشبع به، أو درس طريقة إنماء بلورات التوتيا الزرقاء (كبريتات النحاس) من محلول مشبع بها، فالبلورات هى التعبير فى الشكل الخارجى عن الترتيب الداخلى للذرات والأيونات، ولذلك تعرف البلورة بأنها جسم صلب متجانس ذو أسطح منتظمة ومستوية نتيجة لبناء ذرى منتظم. وعلى

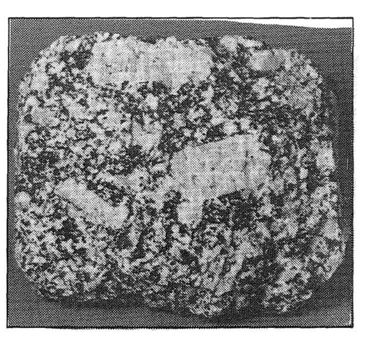
هذا فقطع الكريستال الذى تستعمل فى النجف أو بعض فصوص الأحجار الكريمة التى تقطع من مواد غير متبلورة لا تعتبر بلورات حتى لو كان شكلها الخارجي يتفق تماما مع تعريف البلورة، وذلك لأن الشكل الخارجى فى هذه الأجسام ليس تعبيرا عن البناء الداخلى للذرات. وليس من الضرورى أن تكون المواد المتبلورة على هيئة بلورات كاملة الأوجه دائما، فقد تكون على هيئة حبيبات غير منتظمة (شكل ١-٣)، ولكن ذلك لا ينفى وجود البناء الذرى الداخلى، وقد نقوم بطحن بلورة من الكالسيت مثلا فتدمر الشكل البلورى الخارجي، ولكن ذلك لا يؤثر على البناء الذرى الداخلى.

٢- اللون والمخدش:

يعتبر اللون من أهم المظاهر الخارجية للمعدن حيث أنه أكثر ما يسترعى الانتباه ويشد العين، وكثير من المعادن تنفرد بألوان خاصة تسهل التعرف عليها مثل اللون الأصفر الكناري الذى يميز بعض معادن اليورانيوم، والألوان الخضراء والزرقاء التى تميز بعض معادن النحاس، وهكذا. ومع هذا فهناك بعض المعادن التى تتشابه ألوانها إلى حد كبير وتحتاج إلى عين مدربة للتمييز بينها. كذلك قد يتغير لون المعدن على حسب الحالة التى يوجد عليها، وأقرب مثال على ذلك الهيماتيت (أكسيد الحديد) الذى يكتسب لونا رصاصيا وبريقا فلزيا إذا كانت بلوراته نامية، أما إذا كان على هيئة حبيبات دقيقة فإنه يكتسب لونه الأحمر الدموي المميز، وربما كان اللون أول ما جذب الإنسان نحو الاهتمام بالأحجار الكريمة. وقد وُجِدَ أن اللون الأصلى المميز للمعدن يظهر عند سحقه إلى مسحوق ترابى، ويمكن تحقيق ذلك بسهولة عند حك المعدن على قطعة من الخزف غير المصقول فيعطى خطا ملونا لمسحوق المعدن يطلق عليه المخدش streak. وعند وصف المعدن يذكر لون مخدشه على أنه اللون الأصلى للمعدن، وتذكر بعد ذلك



شكل ١ - ٢ بلورات مكتملة من الكوارتز



شكل ١ - ٣ بلورة فلسبار فى صخر نارى

٣- الصلادة hardness:

الصلادة تعبير يطلق على قدرة المعدن على خدش المواد الأخرى أو مقاومته للخدش من مواد أخرى. ولمقارنة المعادن ببعضها من ناحية الصلادة، رتب البيرونى أربعة معادن معروفة وشائعة تصاعديا حسب شدة مقاومتها للخدش وأطلق عليها "مقياس الصلادة"، وقد طور العالم الألمانى موز ذلك المقياس وأضاف إليه معادن أخرى وأصبح يعرف حاليا باسم مقياس موز Mohs scale للصلادة يشمل عشرة معادن هى:

١ التلك	٢ الجبس
٣ الكالسيت	٤ الفلوريت
٥ الأباتيت	٦ الفلسبار
٧ الكوارتز	٨ التوباز
٩ الكورندم (الياقوت)	١٠ الماس

ويمكن تحديد صلادة أى معدن بمحاولة خدشه بالمعادن المذكورة، وتقع صلادته بين المعدن الذى يخدشه والمعدن الذى يُخدَش به. ويستطيع الظفر أن يخدش الجبس بسهولة والكالسيت بصعوبة أى أن صلادة الظفر حوالى ٣، وتبلغ صلادة نصل المطواة أو الموس حوالى ٥، أما صلادة الزجاج فهى ما بين ٦ و ٧ . ويلاحظ أن الفرق فى الصلادة بين أى معدنين متتالين ليس ثابتا، ولكنه يزداد تصاعديا من أول المقياس إلى آخره، مثلا نجد فرق الصلادة بين الماس والياقوت أكثر من عشرة أضعاف الفرق بين الياقوت والتوباز.

٤- الخصائص الفلزية:

هناك معادن تتشابه إلى حد كبير مع الفلزات فى التوصيل الجيد للحرارة والكهرباء وقابليتها للطرق والسحب والبريق واللمعان ولذلك توصف

هذه المعادن بأنها فلزية، وعلى النقيض هناك معادن لا فلزية من ناحية خواصها الفيزيائية وهى المعادن الرديئة التوصيل للحرارة والكهرباء والتى تتهشم تحت تأثير الطرق وليس لها البريق الفلزى. والفرق بين الصفة الفلزية واللافلزية للمعادن ليست قاطعة، فهناك أيضا المعادن التى قد تكون لها خاصية أو أكثر متوسطة بين هذه وتلك.

٥- الوزن النوع specific gravity:

يختلف الوزن النوعى (أو الكثافة) للمعادن اختلافا كبيرا بين حوالى ٢ لأخف المعادن وهو البوراكس إلى حوالى ١٩ أو أكثر قليلا بالنسبة للذهب وحوالى ٢١ بالنسبة للبلاتين عندما يكون نقيا.

٦- الانفصام cleavage:

كثير من المعادن تميل إلى الانفصام على أسطح مستوية متوازية ومتقاربة بدرجات مختلفة، ويعبر هذا عن ضعف الترابط بين الذرات والجزيئات فى الاتجاه العمودى على هذه المستويات، وقد تكون مستويات الانفصام ذات اتجاه واحد أو أكثر، وفى بعض الحالات تكون مستويات الانفصام من المميزات التى تساعد على تحديد هوية المعدن.

٧- المكسر fracture:

المكسر هو وصف لنوعية السطح الذى ينكسر عليه المعدن غير مستوى الانفصام، ويعتبر من الخصائص المميزة لبعض المعادن، ويوصف المكسر بأنه محارى concoidal إذا ظهرت عليه خطوط مقوسة دائرية مثل سطح صدفة من الداخل أو مثل مكسر قطعة سميكة من الزجاج، أو مستو even إذا كان على هيئة سطح أملس، أومسنن hackly مثل الشظايا

أو ترابى earthy مثل مكسر الطباشير، أو خشن uneven مثل مكسر أقماع السكر.

٨- خصائص فيزيائية أخرى:

هناك خصائص فيزيائية أخرى سيجىء ذكرها فيما بعد عند التعرض للمعادن فى الفصول التالية مثل النشاط الإشعاعى لمعادن اليورانيوم والثوريوم، والمغناطيسية لبعض المعادن التى تحتوى على الحديد، وغيرها.

الخصائص الكيميائية للمعادن:

تتعلق هذه الخصائص بالتركيب الكيميائى للمعادن والتغيرات التى تتعرض لها وتؤدى إلى تغير تركيبها الكيميائى، وتحولها إلى معادن أخرى أو مواد غير متبلورة، وأهم هذه التغيرات التى تهمنا هى التى تحدث للمعادن نتيجة تعرضها للعوامل الجوية. وأهم الخصائص الكيميائية التى تهمنا معرفتها أثناء جولتنا فى مملكة المعادن هى الآتى:

١- الإحلال الأيونى:

علمنا أن لكل معدن نظام محكم لترتيب ذراته أو أيوناته، والذى يحكم هذا الترتيب إلى حد كبير حجم الذرات والأيونات، بغض النظر عن نوعيتها، فلو كان هناك عدد من الأيونات التى لها نفس الحجم تقريبا ومتقاربة فى عدد الشحنات التى تحملها، فيمكن لها أن تحل محل بعضها فى نفس المعدن دون أن يؤثر ذلك على بنائه الداخلى، ويطلق على هذه الظاهرة اسم الإحلال الأيونى ionic substitution، ولذلك نجد أن المعدن الواحد يمكن أن يتغير تركيبه الكيميائى فى حدود معينة. مثال ذلك معادن الفلسبار القلوى، ففيها يشغل الصوديوم والبوتاسيوم نفس الموقع فى البناء الذرى لتقاربهما فى الحجم ولأن كليهما أحادى التكافؤ، ويمكن أن يحل أحدهما محل الآخر بأى

نسبة، نفس الشيء يقال عن أيوني الحديدوز والمغنيسيوم، وأيوني السليكون والألومينيوم، وهكذا. ويؤدى ذلك إلى وجود معدنين متقاربين إلى حد كبير في شكلهما البلوري وخصائصهما الطبيعية، ولكنهما مختلفان في تركيبهما الكيميائي، وهذا راجع إلى إحلال أيون محل أيون آخر في نفس البناء البلوري، وتسمى هذه الظاهرة التشابه الشكلي isomorphism وهي شائعة جدا في المعادن، خاصة معادن السليكات. وهناك ظاهرة شائعة أيضا وتعتبر نقيض التشابه الشكلي وهي التعدد الشكلي polymorphism حيث يوجد نفس التركيب الكيميائي على هيئة معدنين مختلفين، وأوضح مثال لذلك الماس والجرافيت، فكلاهما كربون، ولكن الاختلاف نابع من الاختلاف في الترتيب البنائي لذرات الكربون في كلا المعدنين.

٢- الثبات الكيميائي:

تنشأ المعادن في ظروف متعددة وكثيرة، وعند تغير هذه الظروف، تميل المعادن إلى التكيف مع الظروف الجديدة، وهنا يمكن تمييز المعادن إلى نوعين، يسمى أحدهما المعادن المقاومة resistant minerals وهي التى تقاوم تغير ظروف نشأتها وتظل على حالها بدون أى تغير في تركيبها الكيميائي، ويسمى الثاني المعادن غير المقاومة non-resistant minerals، وهي التى تتأثر بسهولة بتغير ظروف نشأتها وتتحلل كيميائيا إلى مواد غير متبلورة أو إلى معادن أخرى ثابتة في الظروف الجديدة، وأهم مثال على ذلك معادن الفلسبار في الصخور النارية التى تتكون في باطن الأرض في درجات حرارة وضغوط مرتفعة، وعند انكشافها على سطح الأرض فإنها تتأثر بالعوامل الجوية وتتحول إلى معادن الطفلة و مواد أخرى غير متبلورة.

نشأة المعادن:

تنشأ المعادن بواسطة العمليات الجيولوجية التى تموج بها الأرض والتى من نتائجها تكون المعادن والصخور. وقد قسم الجيولوجيون هذه العمليات إلى أقسام ثلاثة رئيسية هى العمليات النارية والعمليات الرسوبية والعمليات المتحولة. وتشمل العمليات النارية igneous processes ظهور مواد منصهرة فى باطن الأرض يطلق عليها اسم الصهارة magma لظروف لا يتسع المجال للدخول فيها، وبمجرد ظهور الصهارة فإنها تندفع من باطن الأرض إلى سطحها وتبرد وتتجمد بالتدريج، وقد يصل جزء منها إلى سطح الأرض على هيئة ثورات بركانية، وتسمى المعادن والصخور التى تتكون من تجمد هذه الصهارة بالمعادن والصخور النارية مثل الجرانيت والبازلت. وعند تعرض الصخور النارية للعوامل الجوية على سطح الأرض فإنها تتفتت وتتحلل وتتحول إلى معادن أخرى يعاد ترسيبها بالعمليات الرسوبية sedimentary processes على هيئة صخور رسوبية مثل الحجر الرملى والطفلة والحجر الجيرى التى تتكون تحت درجات حرارة وضغوط منخفضة، وهى تختلف كثيرا عن الصخور النارية التى تتكون تحت درجات حرارة وضغوط مرتفعة. وقد يحدث أن تنطمر الصخور الرسوبية فى باطن الأرض إلى أعماق مختلفة فتزيد عليها درجات الحرارة والضغوط وتتحول تدريجيا إلى صخور تسمى الصخور المتحولة مثل الاردواز والرخام نتيجة العمليات التحولية metamorphic processes، أى أن الصخور المتحولة تتكون فى درجات حرارة متوسطة بين النارية والرسوبية، ومع زيادة درجات الحرارة على الصخور المتحولة فى باطن الأرض، فإنها تبدأ فى الانصهار وتكوين الصهارة من جديد، وهكذا تستمر العمليات الجيولوجية

الثلاثة فى دورة طبيعية تعرف بدورة الصخور، ومن خلالها تتكون المعادن المختلفة، التى سنتناولها بشىء من التفصيل فى الفصول التالية.

ويمكن تمييز المعادن من حيث نشأتها إلى معادن أولية ومعادن ثانوية؛ فالمعادن الأولية primary minerals هى التى تتكون نتيجة للاتحاد الكيميائى بين مكوناتها ثم ترسيبها بأى طريقة من طرق الترسيب المعروفة، مثل الكروميت (أكسيد الكروم والحديد) الذى يتكون نتيجة التبلور من الصهارة مباشرة، أو الجالينا (كبريتيد الرصاص) الذى يتكون نتيجة التبلور من المحاليل المائية الحارة التى يموج بها باطن الأرض، أو الهيماتيت (أكسيد الحديد) الذى يتكون نتيجة الترسيب من مياه البحر مختلطا بالصخور الرسوبية، هذا بعكس المعادن الثانوية secondary minerals التى تتكون نتيجة التغيرات الكيميائية التى تطرأ على المعادن الأولية مثل معدن السيروسيت (كربونات الرصاص) الذى يتكون نتيجة تحلل الجالينا، أو معدن المالاكيت (كربونات النحاس المائية) الذى يتكون نتيجة تحلل معدن الكالكوبيريت (كبريتيد النحاس والحديد). وهناك بعض المعادن التى يمكن أن تتكون بالطريقتين؛ ففى بعض الظروف تتكون على هيئة معادن أولية، وفى ظروف أخرى تتكون على هيئة معادن ثانوية.

الفصـــل الثـــانى

المعادن فى خدمة الانسان

الصخور والخامات:

يبلغ عدد المعادن المعروفة حتى الآن ما يزيد عن بضعة آلاف، ولكن الغالبية العظمى منها نادرة الوجود، ولا يزيد عدد المعادن الشائعة عن ٢٠٠ معدن. ومن هذه المعادن الشائعة نجد أن معادن السليكات هى أكثرها شيوعا وانتشارا؛ فهى التى تكون الجزء الأكبر من صخور القشرة الأرضية. فإذا فحصنا أى صخر من الصخور الشائعة مثل الجرانيت أو البازلت نجد أنها تتكون غالبا من عدد قليل من المعادن السليكاتية متلاحمة مع بعضها، واختلاف الصخور عن بعضها سببه اختلاف المعادن التى تدخل فى تركيبها، هناك أيضا صخور غير سليكاتية، مثل الحجر الجيرى الذى يتكون من معادن الكربونات، ولكنها أقل شيوعا من السليكات. وجميع المعادن التى نستخدمها مباشرة مثل الملح الصخرى أو الماس أو الكبريت، أو التى .نستخلص منها ما ينفعنا مثل الفلزات، أو التى نصنعها لتوافق استخداماتنا مثل الأسمدة، نحصل عليها من الصخور الشائعة أو صخور ذات نوعيات خاصة أو مواصفات معينة، وهذه كلها يطلق عليها تعبير دارج هو المصادر المعدنية mineral resources أو الثروة المعدنية. إذن من الواجبات التطبيقية الأساسية للجيولوجى معرفة أين توجد هذه المصادر وكيفية البحث عنها وتحديد أماكن وجودها وتقييمها وتحديد الطرق المثلى لاستغلالها. وحيث أن كل هذه المصادر المعدنية أجزاء من القشرة الأرضية فلا بأس من عمل استعراض سريع لتركيب هذه القشرة كخلفية مبسطة لاستعراض استخدامات المصادر المعدنية.

يبلغ سمك القشرة الأرضية حوالى ٣٥ كم فى المتوسط، وهذا السمك ضئيل جدا بالنسبة لنصف قطر الأرض الذى يبلغ ٣٦٠٠ كم تقريبا، أى لو كانت الأرض فى حجم البطيخة، لما زاد سمك القشرة الأرضية عن سمك القشرة الخضراء لهذه البطيخة! وحتى هذه القشرة الرقيقة لم يستطع الإنسان حتى الآن أن يصل فيها لأكثر من حوالى ١٢ كم عمقا بطريقة مباشرة سواء بحفر الآبار العميقة أو فى المناجم العميقة! وتتركب هذه القشرة أساسا من صخور سليكاتية تتركب بدورها من معدن واحد مثل الحجر الرملى أو من تجمع عدة معادن ملتحمة مع بعضها بصورة أو أخرى كالجرانيت و البازلت. وتتواجد هذه الصخور المختلفة على هيئة أجسام أو كتل متباينة الحجم متراصة أو متداخلة مع بعضها. وكل وحدة من هذه الصخور قائمة بنفسها سواء من صخر واحد أو من صخور متعددة ولها حدود واضحة تسمى وحدة صخرية rock unit أو جسم جيولوجى geologic body أو تكوين جيولوجى geologic formation، مثال ذلك طبقة من الحجر الرملى بين طبقتين من الطفلة، أو محقون جرانيتى فى صخور من الاردواز، أو عرق من الكوارتز فى جسم من الديوريت. وعندما يحتوى أحد هذه الأجسام الجيولوجية، أو جزء منه، على معدن أو معادن ذات نفع اقتصادى، أو يكون من الممكن استخدامه كما هو فى غرض ما، فإن هذا الجسم أو هذا الجزء منه يسمى راسبا معدنيا mineral deposit، مثال ذلك عرق من الكوارتز يحتوى على حبيبات من الذهب، أو طبقة من الحجر الجيرى يحتوى جزء منها على الجالينا، أو مجموعة من طبقات الفوسفات أو الجبس أو الملح الصخرى أو الحجر الرملى الذى يستخدم فى البناء مباشرة. وعلى هذا يمكن تعريف الراسب المعدنى على أنه: تكوين جيولوجى، أو جزء من تكوين جيولوجى يمكن استخدامه فى الأغراض الصناعية، أو يحتوى على تركيز من معدن معين أو مجموعة معادن معينة يسمح باستخلاص مواد ذات نفع

للإنسان. ويعتبر اصطلاح "الخامات المعدنية" أو "الخامات" مرادفا لاصطلاح الرواسب المعدنية، إلا أن الشعور الدارج يميل إلى تعريف الخامات المعدنية على أنها الخامات الفلزية، أى الرواسب المعدنية التى تستخرج منها الفلزات، وربما كان ذلك أحد أسباب الخلط بين الفلز والمعدن فى اللغة الدارجة. ولذلك أيضا تقسم المعادن بصفة عامة إلى معادن مكونة للصخور أو معادن صخرية rock forming minerals وهى غالبا معادن سليكاتية، ومعادن خامات أو معادن ركازية ore minerals وهى غالبا أكاسيد أو كبريتيدات أو عناصر طليقة، ولكن ذلك ليس تقسيما قاطعا، فهناك معادن سليكاتية ذات قيمة اقتصادية ويمكن استخلاص فلزات منها، كما أن هناك معادن كبريتيدية لايمكن استخدامها كمعادن ركازية، ومنها البيريت. وهنا يجب التمييز بين المعادن الفلزية metallic minerals والمعادن الركازية ore minerals؛ فالمعادن الفلزية هى المعادن التى لها خواص فلزية ولكن لا يشترط أن تكون مصدرا للفلزات مثل البيريت (كبريتيد الحديد) الذى له خواص فلزية ولكنه لا يستخدم كمصدر للحديد، أما المعدن الركازى فهو المعدن الذى يمكن استخدامه لاستخلاص فلز بصورة اقتصادية، وقد يكون المعدن الركازى معدنا فلزيا أيضا مثل الجالينا الذى يستخلص منه الرصاص، أو يكون المعدن الركازى غير فلزى، مثل المالاكيت (كربونات النحاس) الذى يشبه جنزار النحاس إلى حد كبير وليست له أى خصائص فلزية، ولكنه مصدرا جيدا للنحاس.

وفى أى ركاز أو خامة فلزية تتواجد المعادن الركازية مع معادن أخرى غير ركازية يطلق عليها مجتمعة اسم المعادن الغثة gangue minerals أى المعادن التى ليست لها قيمة من ناحية استخلاص الفلز، ولكن قد تكون بعض هذه المعادن الغثة ذات قيمة من ناحية أخرى ويمكن الاستفادة بها، مثل كسر

الصخور الذى يستخدم فى رصف الطرق أو الكوارتز الذى يستخدم فى ورق الصنفرة.

ولكى يكون الراسب المعدنى اقتصاديا لابد أن يكون العائد منه أكبر من تكاليف استخراجه وإعداده للاستخدام واستخلاص المواد المطلوبة منه. ويعتمد ذلك على عدة عوامل، منها:

١- عوامل جيولوجية مثل تركيز المادة المطلوب استخراجها من الراسب وحجم الراسب وعمقه فى باطن الأرض وطبيعة الصخور المحيطة به وطرق التعدين المناسبة له وغيرها.

٢- عوامل جغرافية مثل موقع الراسب بالنسبة للمناطق التى سيستخدم فيها وبالنسبة لطرق المواصلات والمراكز العمرانية وإمدادات المياه والمتطلبات الأخرى.

٣- عوامل اقتصادية مثل أسعار المواد المستخرجة ومدى الطلب عليها والمواد المنافسة لها.

استخدامات المعادن:

عند التعرض لاستخدامات المعادن أو المصادر المعدنية أو الرواسب المعدنية، يقسم الجيولوجيون هذه الاستخدامات إلى نوعيتين رئيسيتين هما الاستخدامات الفلزية والاستخدامات غير الفلزية أو الصناعية. ففى الاستخدامات الفلزية يكون الهدف من استغلال الراسب المعدنى هو استخلاص فلز أو أكثر، ولذلك يطلق على مثل هذه الرواسب تعبير الرواسب المعدنية الفلزية metallic mineral deposits أو الخامات الفلزية أو الركازات (جمع ركاز ore) للاختصار، أما الاستخدامات اللافلزية فهى تشمل جميع الاستخدامات الأخرى غير استخلاص الفلزات، وفى هذه الحالة

يستخدم تعبير الرواسب المعدنية اللافلزية non-metallic mineral deposits أو الخامات الصناعية، ولا تستخدم كلمة ركاز فى هذا المجال.

الاستخدامات الفلزية للمعادن و المصادر المعدنية:

لا يخفى على أحد الدور الأساسى الذى تقوم به الفلزات فى تقدم الحضارة الإنسانية؛ فاستخدامات الحديد أو النحاس أو الألومنيوم أو القصدير أو الرصاص يعرفها الجميع، وهذا الدور ما هو إلا جزء من الدور الأكبر الذى تقوم به المعادن، فالفلزات مصدرها الوحيد هو المعادن، ولذلك يجب أن يكون واضحا تماما فى ذهنك عزيزى القارىء الفرق الكبير بين المعدن والفلز، بغض النظر عن الاستخدام الدارج. وعند استخلاص الفلزات من المعادن فإن نوع المعدن أو المعادن التى يستخلص منها فلز معين لا تهم كثيرا فى العملية، ولكن الذى يهم هو نسبة وجود الفلز المراد فى الركاز نفسه، ونسب الشوائب المصاحبة للفلز. ولذلك نجد أن هناك عدة معادن يستخرج منها فلز واحد. كذلك تلعب النواتج الثانوية دورا هاما فى جدوى الركازات، وهى النواتج التى يمكن الحصول عليها مع الفلز الأساسى نفسه دون زيادة تذكر فى التكلفة؛ مثلا يوجد اليورانيوم بنسب ضئيلة جدا فى كثير من ركازات النحاس فى شيلى، ويمكن الحصول على هذا اليورانيوم من خلال عملية استخلاص النحاس بزيادة لا تذكر فى التكلفة، ونفس الشىء ينطبق على الذهب والفضة فى بعض ركازات الرصاص والزنك.

وفى مجال الاستخدامات الفلزية تصنف المعادن بصفة عامة كما ذكر سابقا إلى معادن مكونة للصخور أو معادن صخرية وهى غالبا معادن سليكاتية، ومعادن خامات أو معادن ركازية وهى غالبا أكاسيد أو كبريتيدات أو عناصر طليقة، ولكن ذلك ليس تقسيما قاطعا، فهناك معادن سليكاتية ذات

قيمة اقتصادية ويمكن استخلاص فلزات منها، كما أن هناك معادن كبريتيدية لايمكن استخدامها كمعادن ركازية، ومنها البيريت.

وقبل جولتنا الاستعراضية للفلزات كمنتجات للمعادن، ولأن عدد الفلزات كبير واستخداماتها و خصائصها متنوعة جدا، يحسن بنا عمل تقسيم لهذه الفلزات إلى مجموعات فيها بعض أوجه التشابه، وإعطاء مقدمة مختصرة عن هذه المجموعات قبل تناولنا لكل فلز على حدة. على أن التقسيم الذى سنعرضه لن تحكمه أى أسس كيميائية؛ فهذا التقسيم يجمع بين تقسيمات الجدول الدورى للعناصر والاستخدامات العامة للفلزات وبعض الخصائص الأخرى، والهدف منه هو فقط تسهيل استعراض المعادن الركازية للفلزات وركازاتها واستخدام هذه الفلزات وفوائدها، وفى نفس الوقت مساعدة القارىء على استيعاب الفلزات وكثرة عددها.

ويمكن تقسيم الفلزات من ناحية استخداماتها إلى المجموعات الآتية:

١- الفلزات النفيسة **precious metals**:

وتسمى أيضا الفلزات النبيلة **noble metals**، ولذلك ذكرت فى مقدمة الفلزات الأخرى، و تشمل ثمانية فلزات هى الذهب والفضة ومجموعة فلزات البلاتين التى تتكون من خمسة فلزات بالإضافة إلى البلاتين نفسه. وتتبع تسميتها بالنفيسة أو النبيلة من قيمتها كوعاء نقدى واستخدامها فى المقايضة وكذلك كغطاء نقدى منذ أن عرفها الإنسان، ولازالت حتى الآن تحظى بتقدير خاص كعنوان للثروة والمقدرة المالية، هذا بالإضافة إلى استخداماتها الصناعية المتعددة.

٢- الحديد:

ولأهمية هذا الفلز الفائقة، والذى وصف فى القرآن الكريم بالبأس الشديد، فقد وضع فى مجموعة بمفرده، وهو أكثر الفلزات استخداما، وهو أيضا غنى عن التعريف وعن أى تقديم.

٣- فلزات السبائك الحديدية:

وهذه مجموعة من ثمانية فلزات تشمل المنجنيز والكوبالت والكروم والنيكل والتيتانيوم والموليبدينوم والفاناديوم والتنجستن، ومن أهم استخداماتها هى صناعة السبائك الحديدية أو الصلب بنوعياته المتعددة، حيث أن إضافتها إلى الحديد تكسبه خواصا متنوعة للاستخدامات المختلفة، ولذا وجب التجول بينها بعد الحديد مباشرة.

٤- الألومنيوم:

الألومنيوم من الفلزات التى اكتسبت شهرة كبيرة فى النصف الثانى من القرن العشرين نتيجة تزايد استخداماته فى مختلف المجالات لميزته الأساسية وهى خفته، وهو أكثر الفلزات شيوعا فى القشرة الأرضية، وكذلك ثانى الفلزات فى الاستخدامات بعد الحديد.

٥- الفلزات القاعدية:

تشمل الفلزات القاعدية ثلاثة فلزات هى النحاس والزنك والرصاص، وترتبط ببعضها ارتباطا شديدا فى الخامات، خاصة الرصاص والزنك، فلا يوجد أحدهما بدون الآخر فى أى خامة، وقد يوجدان مع بعضهما بدون النحاس، ولكن النحاس لايوجد بدونهما.

٦- فلزى الوقود النووى:

فلزى الوقود النووى هما اليورانيوم والثوريوم، واليورانيوم هو أثقل العناصر من ناحية الوزن الذرى، أى أن ذراته هى أثقل الذرات المعروفة حتى عهد قريب، ولكن تم "تصنيع" عناصر أخرى أثقل من اليورانيوم فى المفاعلات النووية، ولكنها عناصر صناعية لا توجد فى الطبيعة، وهى بالطبع كلها مشعة مثل اليورانيوم لأن ذراتها غير مستقرة. ويتميز اليورانيوم بميزة فريدة بين العناصر الطبيعية فى أن نواته قابلة للانشطار وإطلاق الطاقة الكامنة فى داخلها، وهى طاقة هائلة تعادل ملايين المرات الطاقة المنطلقة من احتراق الفحم والبترول، ولذلك يعتبر اليورانيوم وقودا نوويا. أما الثوريوم فإنه مشع أيضا مثل اليورانيوم ولكن نواته غير قابلة للانشطار مثل نواة اليورانيوم، ولكن من الممكن تحويله بالتفاعلات النووية فى المفاعلات إلى أحد نوعيات اليورانيوم القابلة للانشطار، ولذلك يعتبر أيضا وقودا نوويا مستقبليا يمكن استخدامه بعد نفاد الاحتياطى العالمى لليورانيوم.

٧- فلزات نزرة وغير تقليدية:

معظم الفلزات تعتبر من العناصر النزرة فى القشرة الأرضية التى يقل شيوع الواحد منها عن ٠,٥٪ مثل النحاس واليورانيوم والكوبالت، وهناك الكثير من هذه الفلزات ليست بشهرة النحاس واليورانيوم ولذلك اعتبرت هنا من الفلزات النزرة أو غير التقليدية ويبلغ عددها ٣٢ فلزا، وسيتم التجول بينها وبين معادنها واستخداماتها فى آخر الجولة الفلزية فى مملكة المعادن دون أن يكون هناك أى أساس كيميائى لهذا الاختيار. وبالإضافة إلى هذه الفلزات فهناك ثمانية فلزات نزرة وغير تقليدية أيضا لم يجد الإنسان حتى الآن استخدام لها إلا فى النذر اليسير ولذلك لن نفعل أكثر من القاء نظرة عابرة عليها بعد أن نطلق عليها تعبير "الفلزات الأخرى".

٨- الفلزات القلوية:

تشكل الفلزات القلوية مجموعة العناصر رقم ١ فى الجدول الدورى وتشمل ٦ فلزات هى الليثيوم والصوديوم والبوتاسيوم والسيزيوم والروبيديوم والفرنسيوم. وقد جاء اسم هذه الفلزات من العربية حيث كان الكيميائيين العرب هم أول من اكتشف هذه الفلزات واستخلصوها من الرماد المتبقى من حرق النباتات مثل البوتاسيوم. وهذه الفلزات الستة لا تستخلص بصورتها الفلزية على النطاق الصناعى حيث لا توجد لها استخدامات صناعية، ولكنها تستخدم فى الأبحاث والمعامل الكيميائية على نطاق صغير، ولذلك لن تكون ضمن جولتنا الفلزية .أما مركباتها فلها استخدامات كثيرة جدا فى مختلف الصناعات، خاصة مركبات وأملاح الصوديوم والبوتاسيوم، وسيجىء ذكرها فى استعراض الاستخدامات الصناعية للمعادن فى غير استخلاص الفلزات. والصوديوم هو العنصر السابع شيوعا فى القشرة الأرضية، والبوتاسيوم هو العنصر الثامن، أما الأربعة الباقية فهى من العناصر النزرة، خاصة الفرانسيوم لأن نواته غير مستقرة.

٩- الفلزات القلوية الأرضية أو الأرضيات القلوية:

وهى مجموعة مشابهة للمجموعة السابقة وتتكون أيضا من ستة فلزات هى البريليوم والمغنيسيوم والكالسيوم والاسترونشيوم والباريوم والراديوم. والكالسيوم هو العنصر الخامس شيوعا فى القشرة الأرضية والمغنيسيوم هو العنصر السادس، أما الأربعة الأخرى فهى من العناصر النزرة أيضا. وفيما عدا البريليوم، فإن الأرضيات القلوية لا تستخدم فى هيئتها الفلزية على المستوى الصناعى، ولكن مركباتها وأملاحها لها استخدامات كثيرة فى مجالات صناعية متعددة، تماما مثل فلزات المجموعة السابقة، أما البريليوم فيدخل فى صناعة أغلفة وقود المفاعلات النووية وبعض الصناعات

الإلكترونية المتطورة. ويحظى الراديوم بشهرة خاصة لأن له نشاطا إشعاعيا شديدا وقد استخدم كثيرا فى العلاج الإشعاعى لبعض حالات السرطان، وهو أول الفلزات المشعة التى تم اكتشافها وفصلها من خامات اليورانيوم. وفى استعراضنا للفلزات كنواتج للمعادن سنقتصر على البريليوم والراديوم فقط من هذه المجموعة حيث أنهما الوحيدان بينها الذين يستخدمان فى صورتهما الفلزية، وسيأتى ذكرهما مع الفلزات النزرة وغير التقليدية.

معامل تركيز الفلزات فى ركازاتها:

من جميع العناصر الكيميائية فى الجدول الدورى يوجد ١٣ عنصر فقط تشكل حوالى ٩٩,٥٪ بالوزن من القشرة الأرضية كلها وتسمى العناصر الرئيسية أو العناصر الأساسية major elements (جدول ٢-١)، أما باقى العناصر كلها فهى لا تكون أكثر من حوالى ٠,٥٪ بالوزن من القشرة الأرضية وتسمى العناصر النزرة trace elements، وغالبية هذه العناصر، وخاصة الفلزات، لها أهمية اقتصادية كبيرة جدا مثل النحاس والذهب واليورانيوم وغيرها. من هذا يتبين أنه لتكوين راسب معدنى لأحد الفلزات لا بد من أن تتضافر بعض العوامل الجيولوجية المختلفة لتجميع هذه العناصر ثم تركيزها فى أجزاء محددة من القشرة الأرضية لتكوين هذه الرواسب. ويبين الجدول رقم (٢-٢) متوسط تركيز بعض هذه الفلزات فى صخور القشرة الأرضية والحد الأدنى بالتقريب لتركيز كل فلز فى ركازاته، أى التركيز الذى يسمح باستخلاص الفلز بصورة اقتصادية، ثم معامل التركيز بقسمة الثانى على الأول. مثال ذلك اليورانيوم؛ فمتوسط تركيز هذا الفلز فى صخور القشرة

جدول ٢-١: توزيع العناصر الأساسية فى القشرة الأرضية.

العنصر	متوسط نسبته ٪
الأكسجين	٤٦,٦٠
السيليكون	٢٧,٧٢
الألومنيوم	٨,١٣
الحديد	٥,٠٠
الكالسيوم	٣,٦٣
المهنيسيوم	٢,٠٩
الصوديوم	٢,٨٣
البوتاسيوم	٢,٥٩
التيتانيوم	٠,٤٤
الهيدروجين	٠,١٤
الفوسفور	٠,١١
المنجنيز	٠,١٠
الكربون	٠,٠٢
المجموع	٩٩,٤٠

جدول ٢-٢: معاملات تركيز بعض الفلزات فى رواسبها المعدنية.

العنصر	شيوعه بالتقريب ٪	أقل رتبة فى الركاز ٪	معامل التركيز تقريبا
ألومنيوم	٨,١٣	٣٠	٤
حديد	٥	٣٠	٦
تيتانيوم	٠,٤٤	٢٠	٤٠
منجنيز	٠,١٠	٢٥	٢٥٠
كبريت	٠,٠٥	٥٠	١٠٠٠
كروم	٠,٠٢	٣٠	١٥٠٠
نيكل	٨x ١٠$^{-٣}$	١,٥	١٧٥
زنك	٦,٥x ١٠$^{-٣}$	٤	٦٠٠
نحاس	٤,٥x ١٠$^{-٣}$	١	٢٢٠٠
رصاص	١,٥x ١٠$^{-٣}$	٤	٢٥٠٠
قصدير	٣x ١٠$^{-٤}$	١	٣٠٠٠
يورانيوم	٢x ١٠$^{-٤}$	٠,١	٥٠٠
زئبق	٥x١٠$^{-٥}$	١	٢٠٠٠٠
فضة	١٠$^{-٥}$	٠,٠٥	٥٠٠٠
بلاتين	٥x١٠$^{-٧}$	٠,٠٠١	٢٠٠٠
ذهب	٥x١٠$^{-٧}$	٠,٠٠١	٢٠٠٠

الأرضية هو حوالى ٢ جزء فى المليون (٠,٠٠٠٢٪) ولكى يمكن استخلاص اليورانيوم من ركازه لابد أن يحتوى على ٠,١٪ على الأقل، وهذا يعنى أن العوامل الجيولوجية يجب أن تركز اليورانيوم ٥٠٠ مرة فى مكان ما حتى يمكن تكوين ركاز لليورانيوم. وعادة ما يتم تركيز هذه الفلزات على هيئة معادن متنوعة للفلزات المختلفة فى أجزاء معينة من صخور القشرة الأرضية لتصبح ركازات فلزية. وهذه التركيزات المعدنية إما تتكون مع الصخر فى الأصل وتسمى ركازات متزامنة syngenetic، أو يتم إدخالها فى الصخر بعد تكونه بأزمنة مختلفة وتسمى فى هذه الحالة ركازات لاحقة epigenetic. وهنا يأتى دور الجيولوجى المنقب فى دراسة صخور القشرة الأرضية وفى فهم العمليات الجيولوجية بحيث يستطيع توقع الأماكن التى يحتمل تواجد الركازات بها فيبحث عنها فيها. وأخذا فى الاعتبار أن البحث المكثف عن المعادن قد أدى إلى اكتشاف معظم الركازات الفلزية التى كانت ظاهرة على السطح، فإن البحث والتنقيب أخذ يتجه نحو الكشف عن الركازات المطمورة، وهذا يؤدى إلى ازدياد الصعوبة فى الوصول إلى كشف ركاز جديد، ولهذا يجب الاستعانة بالوسائل والمعدات الحديثة لإمداد الجيولوجى بالمعلومات الجيولوجية التى تعينه كثيرا فى مجال الكشف عن الرواسب المعدنية، كذلك أدى التقدم التكنولوجى المستمر فى طرق البحث والتنقيب والتحاليل واستخدام الاستشعار عن بعد والحاسبات الإلكترونية وغيرها الكثير إلى تسهيل مهمة الجيولوجى إلى حد كبير، إلا أنه مهما كان ذلك التقدم التكنولوجى، فسيظل دور الفكر الجيولوجى البارع والمبدع هو الأساس فى الكشف عن الرواسب المعدنية الذى لا يوجد لها أى بديل، فالعقل البشرى من خلق الله تعالى الذى لن تستطيع كل جهود البشر أن تقلد خلية واحدة منه. لذلك إن لم تنمى أى دولة الوعى الجيولوجى بين أبنائها فلن

تحظى بنصيب من الثروة المعدنية وعليها أن تقنع بمركز متأخر بين الأمم، علما بأن الكشف عن مصادر الثروة المعدنية ليس إلا جانبا واحدا فقط من مهمة الجيولوجي في المجتمعات المستنيرة، وهذا درس قد تعلمناه من زلزال أكتوبر المهيب ومن السيول المتتابعة.

نسب الفلزات في معادنها:

عند ذكر النسب المئوية للفلزات في المعادن الركازية وغيرها جرى العرف على ذكر الفلز في صورته الأكسيدية الشائعة إذا كان المعدن يحتوى على الأكسجين وعناصر أخرى مثل معادن الكربونات والكبريتات مثلا، أما في المعادن التي لا تحتوى على الأكسجين فقد جرى العرف أيضا على ذكر نسبة الفلز نفسه وليس على أي هيئة أخرى، وهذا بالطبع ما سيتبع في الفصول القادمة، ولكن قد يحدث خروج عن هذا العرف في بعض الحالات القليلة لأسباب ستكون واضحة في موضعها.

الاستخدامات اللافلزية للمعادن:

تشمل الاستخدامات اللافلزية للمعادن كل استخداماتها في جميع المجالات ما عدا جانبا واحدا فقط وهو استخلاص الفلزات. وتتنوع هذه الاستخدامات تنوعا كبيرا يتحدى الحصر والتقسيم، ولذلك سنقتصر في الفصول القادمة على أكثر الاستخدامات شيوعا. وفي الغالبية العظمى لهذه الاستخدامات لا يكون الهدف هو الحصول على عنصر معين كما في حالة الاستخدامات الفلزية، ولكن يستخدم المعدن أو مجموعة المعادن (الصخر) كما هو أو للحصول على مادة معينة لغرض ما، ولذا فإن المواصفات الأولية للخامة ذات أهمية كبيرة في تحديد صلاحيتها للاستخدام.

أما المجالات التى سنتناولها الاستخدامات اللافلزية للمعادن فى الفصول التالية فهى كالآتى:

١- العناصر اللافلزية المستخرجة من المعادن:

كما أن هناك معادن عنصرية فلزية مثل الذهب والبلاتين، فهناك أيضا معادن عنصرية لافلزية، أى عناصر لافلزية توجد فى الطبيعة على هيئة معادن وهى الماس والجرافيت والكبريت، ويمثل الماس والجرافيت أروع مثال على ظاهرة التعدد الشكلى، كذلك هناك عناصر لافلزية تستخرج من المعادن مثل الكلور والفلور والبورون.

٢- معادن منفصلة:

هناك معادن يستخدم كل منها لحالـه فـى غـرض أو عـدة أغـراض وسنعرض منهـا المعـادن التاليـة: البـاريت، والفلوريـت، والكالسـيت، والمجنيزيت، والكوارتز والسيليكا، والفلسبار، والتلك، والأسبستوس، والميكا، والأحجار الكريمة، وفى كل هذه الاستخدامات تلعب بعض الخصائص الفيزيائية الأصلية للمعدن الدور الأهم فى تحديد جدواه.

٣- معادن المتبخرات:

وهى المعادن والتجمعات المعدنية (أى الصخور) التـى تتكون بالترسيت من المياه المالحة نتيجة التبخير فى المناطق الصحراوية الحارة إلى حد تشبع المياه بالأملاح وترسبها على هيئة طبقات رسوبية تسمى المتبخرات، وتتنوع فى تركيبها حسب نوعية المياه التى تترسب منها.

٤- الفوسفات والرمال السوداء:

يملك الوطن العربى واحدا من أكبر أحزمة الفوسفات فى العالم، ويمتد هذا الحزام من المغرب و موريتانيا غربا إلى العراق شرقا، والفوسفات هو أحد الخامات الرئيسية الثلاثة للأسمدة. أما الرمال السوداء فهى خامة معدنية مختلطة ذات طبيعة فريدة وتستخدم لاستخلاص عدة معادن فلزية ولافلزية، وتستخدم هذه المعادن أيضا استخدامات فلزية وغير فلزية على حد سواء.

الفصل الثالث

المعادن النفيسة

PRECIOUS MINERALS

الذهب والفضة والبلاتين، ثلاثة فلزات مشهورة يطلق عليها اسم الفلزات النفيسة، وهي في نفس الوقت معادن أيضا، ولذلك سنطلق عليها اسم المعادن النفيسة طالما أننا نتحدث عن مملكة المعادن. والذي جعلها نفيسة في نظر البشر أن لها، وخاصة الذهب، خصائص مميزة تنفرد بها عن الفلزات الأخرى مما جعلها منذ فجر التاريخ البشري وعاءا للتبادل والمقايضة ومقياسا للقيمة المادية لكل السلع المتبادلة بين الناس، أي نقودا بالمعنى الحديث، ولذلك سعى الناس لامتلاكها لأنها مصدر الثراء والقوة، ولطالما كانت سببا في الحروب والغزوات والصراعات لامتلاك مصادرها على مر العصور، لذلك كانت زيارتنا الأولى لرعايا مملكة المعادن موجهة إلى هذه المعادن النفيسة، ولنستعرضها الواحد تلو الآخر حسب أهميتها في نظر الناس.

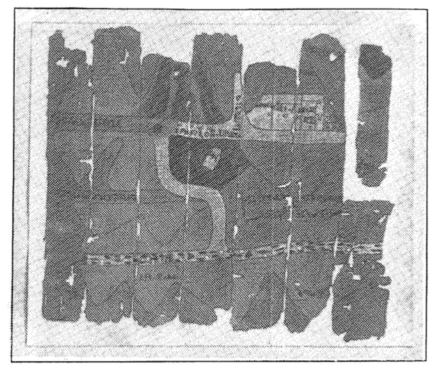
الذهب:

الذهب هو العنصر رقم ٧٩ في الجدول الدوري للعناصر، ويبلغ وزنه النوعي ١٩,٢ عندما يكون نقيا، ولكن غالبا ما تختلط به في الطبيعة فلزات أخرى مثل الفضة والنحاس. ويتميز الذهب النقي بلون أصفر خاص لا يشاركه فيه أي معدن أو فلز آخر، ولكن قد تتشابه معه بعض المعادن الفلزية الأخرى في اللون إلى حد كبير قد يؤدي إلى الخلط بينها، ولكن بريق الذهب لا يختلف ما بين رؤيته في الظل أو في ضوء الشمس المباشر، بينما يختلف بريق المعادن الأخرى اختلافا واضحا. ويعتقد أن الذهب كان من أوائل

الفلزات التى اكتشفها الإنسان واستخدمها، فقد عثر أجدادنا القدماء علـى كتـل منه فى رواسب الوديان واسترعى انتباههم ببريقه الأخاذ وثقله النوعى الكبير وخصائصه الأخرى، ويدلنا التاريخ على أن الانسان الأول قد استخدم ما عثر عليه من كتل الذهب كدلايات وحلى تزين بها علية القـوم، وسـرعان مـا دخـل مجال المقايضة وأصبح من المقتنيات القيمة التـى يتهافت عليهـا البشـر. ولقـد كان لقدماء المصريين باع طويل فى البحث عن الذهب واسـتخراجه واقتنائـه، وآثارهم الكثيرة خير شاهد على ذلك، فما من راسب للذهب اكتشف حديثـا إلا وكان القدماء قد سبقوا اليـه واستغلوه، وأقـدم خريطـة جيولوجيـة لمنجـم تلـك المدونـة علـى ورق البردى لمنجـم الذهـب فـى الفواخير بـالصحراء الشـرقية المصرية (شكل ٣-١) والمحفوظة بمتحف اللوفر بفرنسا.

وجود الذهب فى الطبيعة:

مـن المعـروف أن صخـور القشـرة الأرضيـة تحتـوى علـى كـل الفـلزات تقريبا بنسب متفاوتة، وهى نسب ضئيلـة جـدا لا تسـمح باسـتخلاصها، ولكـن العوامل الجيولوجية المختلفـة التـى تـؤدى إلـى تكـون الصخـور وإحـداث أى تغيرات عليها بعد تكونها، تؤدى أيضا إلى تركيز واحد أو أكثر مـن الفـلزات فى أجزاء معينة من الصخور، وقد يصل هذا التركيز إلـى الحـد الـذى يمكـن معه استخلاص الفلز بصورة اقتصادية، وفى هذه الحالة يطلق على هذا الجزء من الصخر اسم خام ore لهذا الفلز المعين، وهو المصطلـح الـدارج الشـائع، ولكن بعض المراجع العربية تفضل استخدام كلمة "ركاز" بدلا من خـام، وهـذا ما سنتبعه فى زياراتنا لمملكة المعادن. ويقدر الجيولوجيون أن متوسط تركـيز الذهب فى صخور القشرة الأرضية هو خمسة فى البليون، أى أن كل ١٠٠٠ طن من الصخور تحتوى على ٥ جرامات من الذهب، أو أن كل جرام واحـد من الذهب يوجد فى ٢٠٠ طن من الصخور. وتختلف هذه النسبة من صخـر



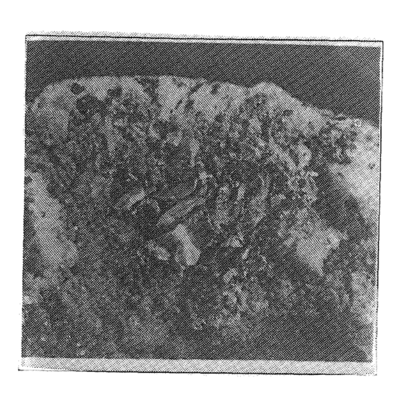
شكل ٣ -١ : خريطة منجم الفواخير، أقدم منجم ذهب فى العالم

إلى آخر، كذلك تختلف في نفس الصخر حسب البيئة الجيولوجية التي تكون فيها. وإذا قدرنا أن الحد الأدنى لنسبة الذهب في الصخر التي تمكن من استخلاصه بصورة اقتصادية هي ما بين ٥ إلى ١٠ جرام في الطن، أي أن أقل نسبة للذهب في ركازاته لا يجب أن تقل عن ٥ إلى ١٠ جرامات في الطن، وإلا لا يصبح ركازا، فإن العمليات الجيولوجية يجب أن تقوم بتركيز الذهب مابين ١٠٠٠ إلى ٢٠٠٠ مرة في جزء معين من الصخور لكي يصبح هذا الجزء ركازا للذهب. وهنا يأتي دور الجيولوجي الذي يجب عليه أن يفهم الصخور والعمليات الجيولوجية فهما عميقا حتى يستطيع أن يحدد الأماكن التي يمكن أن تكون موقعا لهذا التركيز لتوجيه أعمال التنقيب عن الذهب إليها.

ركازات الذهب:

يوجد نوعان أساسيان من ركازات الذهب هما العروق والرواقد، وسنصف كل منهما على حدة فيما بعد. وفي نفس الوقت يتم استخراج كميات كثيرة من الذهب كناتج ثانوي لكثير من ركازات الفضة والنحاس والرصاص والزنك والقصدير، ويوجد الذهب في هذه الركازات على هيئة صفائح رقيقة أو حبيبات غير منتظمة الشكل غالبا ما تكون ضئيلة إلى حد عدم إمكان رؤيتها بالعين المجردة، ولكن في أحوال نادرة يوجد على هيئة كتل كبيرة تصل إلى حجم قبضة اليد. وأكثر معادن الذهب شيوعا هو الذهب نفسه (شكل ٣-٢) مختلطا معه نسب مختلفة من بعض الفلزات الأخرى كالنحاس والفضة والنيكل، ولكنه يوجد أيضا على هيئة معادن التلوريدات tellurides وهي شبيهة بمعادن الكبريتيدات ولكنها ذات تركيب أكثر تعقيدا.

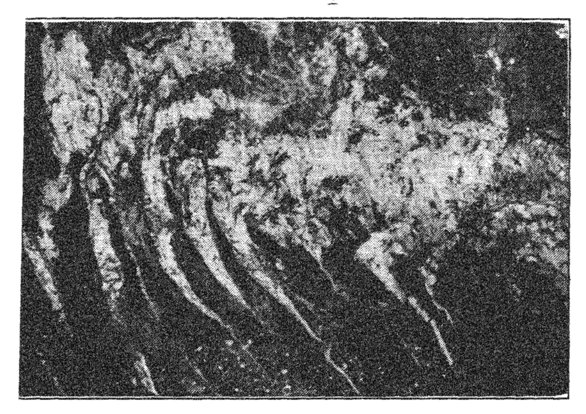
وتتكون عروق الذهب من الكوارتز أساسا مع قليل من معادن أخرى، ويتخذ الكوارتز لونا أبيضا غالبا، ولكنه أحيانا ما يكون مدخنا أو حتى أسودا.



شكل ٣ – ٢ : بلورات من الذهب على هيئة شرائح

وتوجد هذه العروق فى الشقوق التى تنشأ نتيجة تهشم الصخور الحاوية لها، ثم يتم ترسيب مادة العرق من المحاليل المائية الساخنة التى تحمل المواد الأصلية للعروق، وهذه طريقة شائعة لتكون عروق ركازية لمعادن أخرى كثيرة ويطلق عليها تعبير الحشو cavity filling، وعادة ما تحاط هذه العروق بغلاف من الصخور المهشمة والمتأثرة بالمحاليل المائية الساخنة. وتكون هذه العروق إما منفردة ويمتد الواحد منها عدة مئات من الأمتار أو تكون على هيئة مجموعات من العريقات الصغيرة التى تتخذ أشكالا متعددة حسب الفراغات الصخرية التى تشغلها (شكل ٣-٣).

وعند تعرض عروق الذهب أو أى صخر آخر يحتوى على حبيبات الذهب، ولو بنسب أقل بكثير من النسب الركازية، إلى عوامل التعرية فإنه يتفتت ويتحلل ويتحول فى النهاية إلى فتات صخرى على هيئة رمال وأتربة،



شكل ٣-٣: عروق الكوارتز الحاملة للذهب بأحد مناجم كندا.

ويتم جرفه بواسطة مياه الأمطار إلى مجارى الأنهار ثم يعاد ترسيبه على هيئة رسوبيات مفككة، وأثناء عمليات النقل والترسيب، يتم تصنيف الفتات الصخرى حسب الوزن النوعى، فتتركز المعادن الثقيلة فى الأماكن التى يحدث فيها انخفاض فجائى فى شدة تيار الماء، ويسمى مثل هذا المكان مرقد placer ويسمى الراسب الذى يتكون فيها راسب ركازي راقد placer deposit، ولأن الذهب من المعادن الثقيلة جدا فإن حبيباته الفتاتية تتركز فى الرواقد بصفة خاصة، ولذا تعتبر الرواقد من الرواسب الجيدة للحصول على الذهب. وقد تكون الرواقد على هيئة رواسب مفككة لا تحتاج إلى أى

عمليات تكسير وطحن لتحرير حبيبات الذهب، أو تكون على هيئة رواسب متماسكة أو صخور رسوبية تحتاج إلى عمليات تعدين ثم تكسير وطحن حتى يمكن تحرير حبيبات الذهب منها قبل إجراء عمليات فصلها.

وتستخلص حبيبات الذهب من ركازاته بإجراء عمليات الطحن والغربلة اللازمة بإحدى طريقتين: إما بالتعويم أو بالإذابة. ففى التعويم يعالج الركاز المطحون بسوائل كيميائية خاصة تعمل على خلق طبقة من الرغاوى تقتنص الذهب وتعوم به على السطح العلوى حيث يتم كشطها بعيدا عن باقى المواد التى كانت مختلطة به، أما فى الطريقة الأخرى فيذاب الذهب فى محلول من السيانيد الذى يرشح بعد ذلك من باقى الخام ثم يعاد ترسيب الذهب منه فى أحواض خاصة.

توزيع ركازات الذهب فى العالم:

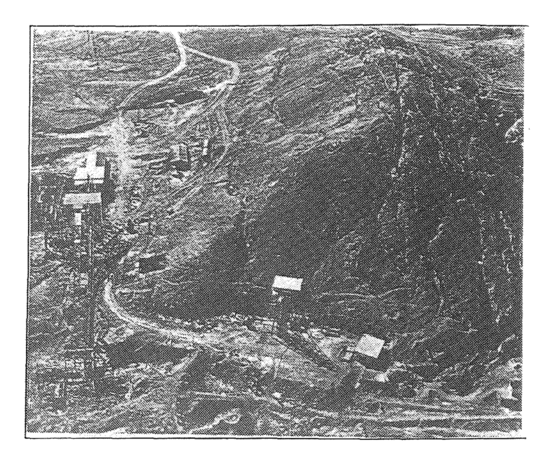
توجد ركازات الذهب فى كثير من دول العالم، كما أن كثيرا من دول العالم أيضا تحصل على الذهب كناتج ثانوى من بعض الركازات الأخرى. وأهم الدول المنتجة للذهب فى العالم هى جنوب أفريقيا والولايات المتحدة الأمريكية واستراليا و كندا والبرازيل وقد بلغ الإنتاج العالمى عام ١٩٨٧ خارج الدول الشيوعية ١٣٧٣,٤ طنا.

ومن الدول المتوقع دخولها سوق إنتاج الذهب فى المستقبل المملكة العربية السعودية، ففيها آثار تدل على انتشار مناجم الذهب الكثيرة التى استغلها القدماء بطرق بدائية ولا زالت تحتوى على قدر كبير من ركازات الذهب على أعماق لم يستطع القدماء الوصول إليها. ويرجع تاريخ هذه المناجم إلى الدولة العباسية، ومن أكبر هذه المناجم منجم مهد الذهب (شكل ٣-٤، ٥) الذى يقع حوالى ١٥٠ كم جنوب شرق المدينة المنورة، وقد تمت به بعض الاكتشافات الحديثة التى زادت من الاحتياطى زيادة كبيرة، حيث

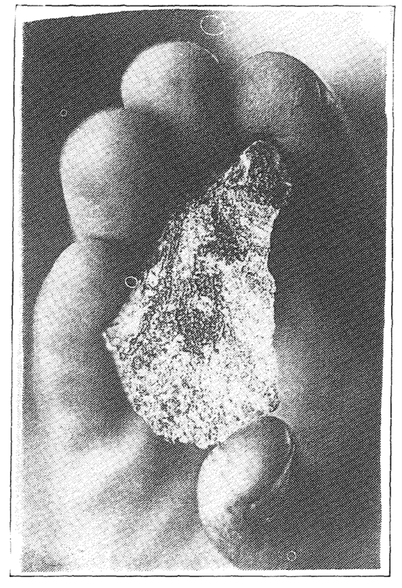
يقدر الآن بحوالى ١,١ مليون طن من الركاز يحتوى فى المتوسط علـى ٢٧ جم فى الطن ذهب و٧٣ جم فـى الطـن فضـة بالإضافـة إلـى بعـض النحـاس والزنك. كذلك توجد عدة مناطق أخرى تحتوى على احتياطيـات لا بـأس بهـا يجرى تحقيقها حاليا. وفى مصر يوجد الذهب فى عروق الكوارتز فى حوالـى ٩٥ موقعا فى الصحراء الشرقية تم استغلالها بواسطة قدماء المصريين، ومـن المؤكد أن هذه الموقع لا زالت تحتوى على كميـات كبيرة مـن الذهـب، ومـن المتوقع أن تدخل مصر مجال إنتاجه فى المستقبل القريب، كذلك يوجد الذهـب فى بعض ركازات النحاس فى كل من الصحراء الشرقية وسيناء.

استخدامات الذهب:

ربما يكـون أكثر الاستخدامات للذهـب هـو مجـرد الاحتفـاظ بـه، مجـرد تخزينه وحراسته والسهر عليه والخـوف مـن فقده أو ضياعـه، فالإنسـان قـد تولد لديه الشعور بأن مجرد امتلاك الذهب يعنى الغنـى والقوة، وهـذا تعبير عن طمع الإنسان وجشعه، وقد قدر البعض أن نصف الذهب الذى استخرجه الإنسان منذ اكتشافه ليس له استخدام غير تخزينه والتحفظ عليه. نفس الشىء ينطبـق علـى الفضـة تقريبـا، ولذلـك توعـد اللـه هـؤلاء الذيـن يكنزونهمـا ولا ينفقونهما فى سبيل الله. يأتى فى المقام الثـانى فـى اسـتخدامات الذهـب الحلـى والمجوهرات، ويستخدم فيهـا الذهـب بمفـرده أو بخلطـه مـع فـلزات أخـرى لإكسابه خصائص معينة، وكذلك بعمـل تركيبـات منـه مـع الأحجـار الكريمـة المختلفة. والذهب النقى ليس صلدا بدرجة كافية تصلح لصناعة المجوهرات، ولكنه يخلط بالنحاس أو الفضة أو النيكل أو البلاتين لزيادة صلادته وفى نفس الوقت إكسابه ألوانا مميزة، فقليل من النحاس يضفى عليه احمرار فى اللـون، أما الفضة فإنها تضفى عليه مسحة من البياض، أما زيـادة نسبة البلاتيـن إلـى



شكل ٣ – ٤ : منجم مهد الذهب بالمملكة العربية السعودية



شكل ٣ – ٥ : عينة من منجم مهد الذهب

٢٥٪ أو النيكل إلى ١٥٪ فإنها تعطى سبيكة تسمى الذهب الأبيض. ويتميز الذهب بقابليته الفائقة للطرق والسحب، ولذلك تصنع منه رقائق الذهب التى تستخدم فى الديكورات المذهبة وخاصة الأثاث الخشبى، كما يمكن سحب أوقية واحدة من الذهب إلى أسلاك غاية فى الدقة تصل إلى عدة آلاف من الأمتار طولا، وتستخدم فى كثير من المشغولات الذهبية، وتدل آثار مصر القديمة على براعة الإنسان منذ القدم فى استخدام الذهب فى الديكورات. وبالرغم من هذا فهناك استخدامات تطبيقية وصناعية للذهب أيضا، وهى فى تزايد مستمر مع تطور الصناعة والتكنولوجيا، فمن أوائل الاستخدامات التطبيقية للذهب تركيبات الأسنان التى تعتمد على المقاومة الكيميائية للذهب وقابليته للتشكيل بسهولة، ونظرا لجودة توصيله للكهرباء التى تفوق أى فلز آخر، فقد لاقى ترحيبا شديدا فى الصناعات الإلكترونية الحديثة، خاصة فى مراكب الفضاء.

الفضة:

تشبه الفضة الذهب إلى حد كبير فى جميع خصائصه تقريبا، ولكن بصورة مصغرة، كما لو كانت له كالشقيقة الصغرى. فالفضة من أوائل الفلزات التى استخدمها الإنسان ويرجع تاريخها إلى العصر الحجرى الأول. ويبلغ متوسط نسبة الفضة فى صخور القشرة الأرضية جم واحد فى كل ١٠ طن من الصخور، وأقل نسبة للفضة فى ركازاتها تبلغ حوالى ٥٠ جرام فى الطن، وهذا يعنى أن ركازات الفضة تحتاج إلى تركيزها خمسة آلاف مرة. وغالبا ما توجد الفضة مصاحبة للذهب فى عروقه، ولكنها تفترق عنه فى ركازات الرواقد حيث أنها أقل منه فى مقاومة عوامل التعرية فلا تتحمل عمليات الأكسدة والإذابة أثناء النقل، ولذلك تقتصر ركازات الفضة على

العروق أو على الركازات المنبثة فى الصخور النارية. وتوجد الفضة فى الركازات على هيئة مجموعة من المعادن أشهرها وأوسعها انتشارا هو الأرجنتيت argentite وتركيبه كبريتيد الفضة Ag_2S، يليه البروستيت proustite ويتكون من كبريتيد الفضة المحتوى على الزرنيخ، كما توجد أيضا على هيئة الفضة الطليقة (شكل ٣-٦)، كذلك توجد الفضة بنسب عالية فى كثير من معادن الذهب والرصاص والنحاس وخاصة الجالينا الذى يعرف بمعدن الكحل. ونتيجة لتأثر تلك المعادن بالظروف الجوية وأكسدتها، فإن الفضة تتحرر من هذه المعادن وتذوب فى المياه السطحية المؤكسدة، ولكنها سرعان ما يعاد ترسيبها فى صورتها الفلزية الطليقة، ولكنها تختلف عن الذهب فى أنها تصدأ وتكون صورتها قاتمة.

وللفضة ما يسمى القيمة الكامنة التى تجعلها كالذهب عاملا هاما فى المقايضة والتقييم النقدى، ولكن بدرجة أقل، ولذلك فإن أكثر استخدام لها هو الاقتناء والاكتناز أيضا. وفى المرتبة الثانية يأتى استخدام الفضة فى الحلى والمجوهرات وأدوات السفرة وكثير من الأدوات المنزلية التى تقتنى للتباهى أكثر من الاستخدام العادى. وكانت الفضة تستخدم على نطاق واسع فى صك العملات المعدنية، ولكنها قلت إلى حد كبير الآن لارتفاع سعرها وتكاد تقتصر على العملات التذكارية فقط. أما فى الاستخدامات الصناعية فيعتبر أكثرها هو استخدام الفضة فى التصوير الفوتوغرافى؛ فقد وجد أن هاليدات الفضة تتأثر بالضوء بحيث تترسب منها الفضة فى صورتها الفلزية تحت تأثيره، وتعتمد كمية الفضة المترسبة على شدة الضوء التى تتعرض لها هذه الأملاح. كذلك تستخدم الفضة فى الإلكترونيات وفى بعض الصناعات الكيميائية كعامل مساعد. وقد بلغ إنتاج الفضة خارج الدول الشيوعية حوالى ١٠٤٠٠ طن فى عام ١٩٨٧ موزعة على كل من المكسيك (٢١١٨) طن وبيرو (٢٠٠٦)

طـن وكندا (١٣٠٠) طـن وأمريكـا (١١٦٠) طـن واسـتراليا (٩٩٦) طـن والباقى من دول أخرى.

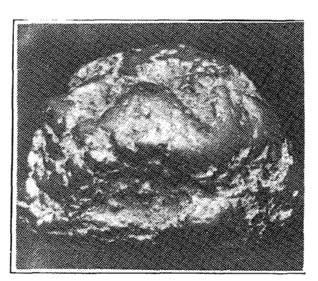
البلاتــين:

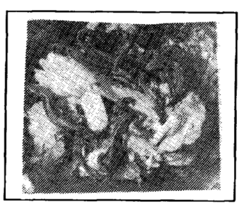
يحتل البلاتين المركـز الثـامن والسبعين فـى الجدول الـدورى للعنـاصر، ويبلغ متوسط تواجده فى القشرة الأرضية ومعـامل تركـيزه فـى ركازاتـه مثـل الذهـب تمامـا. ودائمـا مـا يوجـد البلاتيـن فـى الطبيعـة (شـكل ٣-٧) مختلطـا بخمسة فلزات أخرى بنسب متفاوتة وهـى البـاليديوم والأوزميـوم والإريديـوم والروثينيوم والروديوم، وينحصر وجود هذه الفلزات الستة والتى يطلق عليهـا اسم مجموعـة فـلزات البلاتيـن platinum group metals (PGM) فـى الصـخور المافية mafic rocks مثل الجابرو والجابرو الطباقى وفى الصخور فوق المافية ultramafic rocks مثل البريدوتيت والسربنتين، وقد يوجد معها الذهب والفضة، ولكن مجموعة فلزات البلاتيـن لا تصـاحب الذهـب والفضـة فـى ركازاتهـا العرقيـة، ولكـن تصـاحب الذهـب أحيانـا فــى الرواقـد، وذلـك لمقاومتهـا الشـديدة للتحلـل الكيميـائى مثل الذهـب، ولقد كـانت رواقــد جبــال الأورال المصـدر الرئيسى للبلاتين حتى اكتشاف ركازات الصخور النارية فـى كل من كندا وجنوب أفريقيا.

وأكثر استخدامات البلاتين هو كعـامل مسـاعد فـى كثير مـن الصناعـات الكيميائية وفى تكرير البترول. يـأتى بعد ذلـك استـخدامه فـى صناعـة الحلـى والمجوهرات حيث يخلـط بـه الذهـب لأغـراض مختلفـة كمـا يسـتخدم كاطـار لفصـوص المـاس حيث أن لونه الأبيض الرائق يزيد من رونـق المـاس ويـبرز تأثيره الضوئى. وتؤدى مقاومة البلاتين الهائلة للتآكل والتغـير الكيميـائى إلـى

استخدامة على نطاق واسع فى المعامل الكيميائية لصناعة العديد من الأدوات مثل بوانق وأطباق البلاتين التى تستخدم فى التحاليل الكيميائية لتذويب العينات بالأحماض المختلفة، وفى عمل الأسلاك والألواح الرقيقة التى تستخدم فى أغراض مختلفة. كما يستخدم البلاتين فى كثير من التوصيلات الكهربائية وفى شموع الاحتراق فى آلات الاحتراق الداخلى. كذلك يستخدم البلاتين فى تركيبات الأسنان وفى صناعة أجهزة قياس درجات الحرارة المرتفعة.

وقد بلغ إنتاج البلاتين خارج الدول الشيوعية حوالى ٨٣,٥ طن فى عام ١٩٨٧، كان معظمه من جنوب أفريقيا، أما الطلب عليه فى نفس العام فقد وصل إلى ١٠٣,٢ طن، وجاء الفرق من شراء ١٠,٩ طن من الاتحاد السوفييتى السابق بالإضافة إلى السحب من المخزون الاحتياطى.





٧ ٦

شكل ٣-٦: عينة من ركاز الفضة فى عرق كالسيت.

شكل ٣-٧: كتلة من البلاتين من سيبيريا.

الفصل الرابع

معادن الحديد

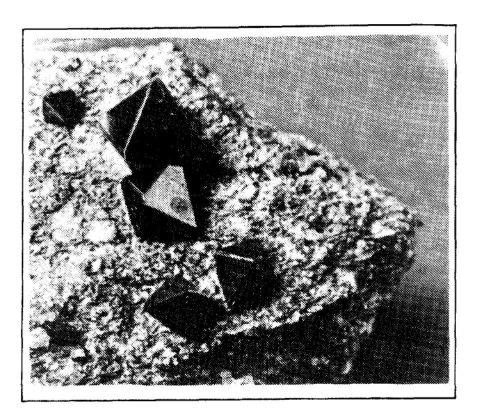
الحديد هو العنصر الرابع شيوعا فى القشرة الأرضية بعد الأكسجين والسيليكون والألومنيوم، ويبلغ متوسط نسبته فيها حوالى ٥٪، أى أن كل مائة طن من الصخور تحتوى على خمسة أطنان من الحديد. وتبلغ أقل نسبة للحديد فى ركازاته حوالى ٣٠٪، وعلى هذا يصبح معامل التركيز لركازات الحديد هو حوالى ٦. وقد عرف الحديد منذ أكثر من ٤٠٠٠ سنة، عندما بدأ المصريون القدماء فى صناعة بعض الأسلحة من الحديد وتبينوا مدى تفوقها على الأسلحة المصنوعة من النحاس أو البرونز، وربما كانوا قد حصلو عليه فى ذلك الوقت من بعض النيازك الحديدية، ثم توسع الإنسان فى استخدامه بعد أن توصل إلى كيفية استخلاصه من ركازاته بواسطة عمليات الاختزال، وكان ذلك حوالى سنة ١٢٠٠ قبل الميلاد والتى تعتبر بداية عصر الحديد الذى لازلنا نعيش فيه حتى الآن، ومنذ ذلك الوقت واستخدامات الحديد فى تزايد مستمر حتى أصبح أكثر الفلزات استخداما على الإطلاق، فاستخدامات الحديد أكثر مما يمكن حصره، وهو الأساس للتقدم الصناعى الهائل للدول الغربية بعد الثورة الصناعية عام ١٧١٠ التى اعتمدت على التطور والتوسع فى عمليات اختزال ركازات الحديد بواسطة فحم الكوك والحجر الجيرى فى الأفران العالية. والحديد هو أكثر الفلزات استخداما فى الوقت الحالى، فيقدر أن ركازات الحديد تشكل حوالى ٩٥٪ بالحجم من مجموع أحجام الركازات الفلزية المستخرجة من المناجم سنويا، كما أن إنتاجه السنوى يبلغ ١٥ ضعف الفلز الذى يليه فى الاستخدام وهو الألومنيوم. وترجع أهمية الحديد هذه إلى عدة أسباب أبرزها قوته الشديدة وقابليته لتكوين سبائك مع معظم الفلزات

الأخرى بمواصفات متعددة لتلبية جميع الأغراض الصناعية والتكنولوجية، هذا بالإضافة إلى شيوع ركازاته بكثرة وسهولة استخراجه نسبيا وقلة سعره، فهو مثلا أرخص من الألومنيوم سبعة مرات ومن الرصاص ثلاثة مرات تقريبا. وقد تراوح سعر طن الحديد الفلزى الخام المنتج من الأفران العالية من حوالى ٢٠٠٠ إلى ٢٤٠٠ دولار مابين عامى ١٩٨٠ و١٩٨٥.

تواجد الحديد:

يوجد الحديد كمكون أساسى فى عدد كبير من المعادن المكونة للصخور (السيليكات) وكذلك المعادن الركازية (الكبريتيدات والأكاسيد)، ولكن هناك فقط أربعة معادن تشكل المصادر الأساسية للحديد، بالإضافة إلى بعض المواد الأرضية التى يطلق عليها أشباه المعادن مثل الليمونيت. ويوجد الحديد الحر كمعدن أيضا على هيئة كتل منبثة فى بعض الصخور البازلتية فى جرينلاند تتراوح من حبيبات دقيقة إلى كتل تصل إلى ٢٠ طن للكتلة الواحدة، كما يوجد أيضا فى النيازك. وأهم معادن الحديد الركازية هى:

١- الماجنيتيت Fe_3O_4: يحتوى على حوالى ٧٢٪ من وزنه حديد، وهو المعدن الركازى الرئيسى فى كثير من ركازات الحديد، ويعرف باسم أكسيد الحديد المغناطيسى لأن بعض نوعياته تعتبر مغناطيسات طبيعية، كما أنه أكثر المعادن قابلية للمغنطة وينجذب بسهولة للمغناطيسات الضعيفة، ولا يشاركه فى هذه الصفة أى معدن آخر ويعتبر ذلك أسهل اختبار للكشف عنه والتعرف عليه. وأشهر بلورات الماجنيتيت توجد على شكل هرم رباعى مزدوج ذى حواف متدرجة (شكل ٤-١). ويتكون الماجنيتيت نتيجة العمليات الصهارية ويتركز فى الصخور النارية، وأحيان ينفصل من هذه الصخور مكونا أجساما عدسية أو ذات أشكال غير منتظمة تحتويها الصخور النارية.



شكل ٤-١: بلورات من الماجنيتيت

٢- الهيماتيت Fe_2O_3: ويحتوى على حوالى ٧٠٪ من وزنه حديد، ويلى الماجنيتيت فى الأهمية كمعدن ركازى للحديد. ويوجد على هيئتين: الأولى تأخذ صفات غير فلزية وذات لون أحمر فاتح إلى قاتم وكثيرا ما تتخذ نسيجا بطروخيا (كتل من حبيبات مستديرة أو شبه مستديرة تشبه بطروخ السمك) وتتكون غالبا نتيجة عمليات رسوبية، والثانية تأخذ صفات فلزية وتوجد على هيئة كتل من شرائح دقيقة مفلطحة وتتكون غالبا نتيجة عمليات صهارية أو

حرمائية، وأهم ما يميز الهيماتيت فى كل حالاته هو لون مخدشه الأحمر الدموى الذى لا يضارعه فيه معدن آخر.

٣- السيديريت $FeCO_3$: ويحتوى على حوالى ٤٨٪ من وزنه حديد، ويتميز بلونه الأحمر الوردى وبلوراته المعينية وقلة صلادته (٣-٤)، ويتكون غالبا فى الصخور الرسوبية، ولكنه يوجد أيضا فى بعض الصخور النارية.

٤- الليمونيت: وهو فى الواقع ليس معدنا حسب التعريف الدقيق، ولكنه خليط من أكاسيد الحديد المائية وهيدروكسيدات الحديد، ويتخذ عدة ألوان من الأصفر إلى الأحمر إلى البنى، ويتكون نتيجة تحلل المعادن الحاملة للحديد تحللا كيميائيا وإذابة معظم عناصرها فيما عدا الحديد الذى يتركز فى المواد المتخلفة عن هذا التحلل. فالمعروف أن مركبات الحديد فى حالتها المختزلة تكون قابلة للذوبان فى الماء حيث يكون الحديد فى حالة الحديدوز، ولكن عند تعرضها للأكسجين الجوى فإن الحديد يتأكسد بسهولة ويتحول إلى حالة الحديديك مكونا مركبات غير قابلة للذوبان فى الماء، ولذلك فإن أى مواد متخلفة عن تجوية أى معادن تحمل الحديد تحتوى على نسبة كبيرة منه على هيئة أكاسيد. وكان يعتقد فى الماضى أن هذه المواد الغنية بالحديد معدنا وأطلق عليه اسم الليمونيت، ولكن تبين بعد ذلك أنها غير متبلورة.

٥- توجد بعض معادن أخرى للحديد فى ركازاته مثل الشاموزيت والجرينااليت والبيريت، ولكنها ليست بأهمية المعادن السابقة.

ركازات الحديد:

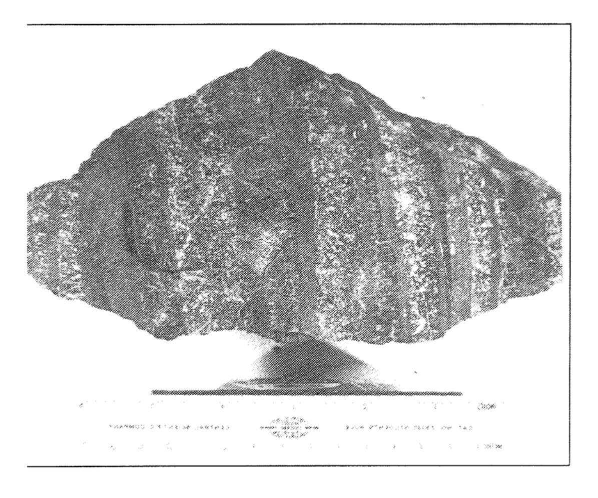
ركاز الحديد هو أى مادة صخرية تحتوى على نسبة من معادن الحديد الركازية تسمح باستخلاصه منها بصورة اقتصادية، ويطلق عليه أيضا اسم خام الحديد فى اللغة الدارجة. ويتكون ركاز الحديد من واحد أو أكثر من معادن الحديد المذكورة فيما سبق مع معادن أخرى غثة. وركازات الحديد

شائعة ومنتشرة فى مناطق كثيرة من العالم خاصة فى أمريكا وكندا واستراليا وعديد من البلدان الأوربية والآسيوية. ويمكن تقسيم ركازات الحديد الرئيسية إلى قسمين أساسيين من ناحية العوامل الجيولوجية التى أدت إلى نشأتها وهى الركازات ذات النشأة الرسوبية والركازات ذات النشأة النارية. وينقسم كل واحد منهما أيضا إلى عدة أنواع كالآتى:

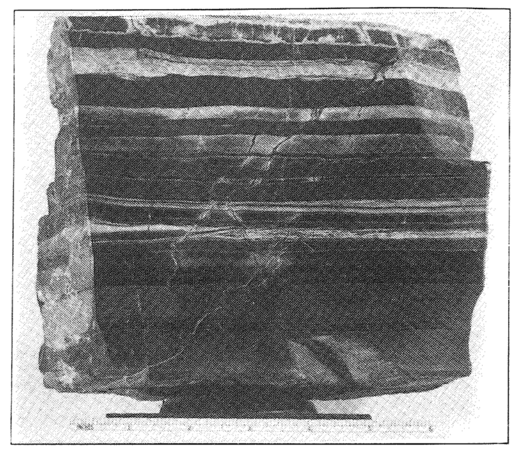
أولا: الركازات ذات النشأة الرسوبية:

وتشمل الركازات التى تكونت بفعل العوامل الرسوبية فى البحار والمحيطات أو على سطح الأرض بصفة عامة، ويمكن تمييزها إلى الأنواع التالية:

١- ركازات الحديد الشرائطية **banded iron formations**: وتوجد على هيئة تتابعات رسوبية من طبقات من معادن الحديد مع طبقات من السيليكا المصبوغة باللون الأحمر نتيجة لحتوائها على نسبة عالية من الحديد (شكل ٤-٢، ٣). ويبلغ سمك التتابع الواحد ما بين ٣٠ متر إلى عدة مئات من الأمتار ويمتد طوليا مسافات تبلغ من عشرات إلى مئات الكيلومترات. وتوجد هذه التتابعات الحديدية مع تتابعات أخرى من الصخور الرسوبية أو الصخور البركانية. وقد تعرضت هذه التتابعات الحديدية وما يصاحبها من التتابعات الأخرى إلى عمليات طى معقدة أدت إلى ميلها عن المستوى الأفقى بدرجات متفاوتة، ونتيجة لزيادة مقاومة التتابعات الحديدية لعوامل التعرية، فإنها تبرز من بين الصخور التى تحيط بها على هيئة أعراف مستطيلة. وتختلف نسبة الحديد فى هذه التتابعات اختلافا كبيرا من مكان لآخر ولكنها تبلغ حوالى ٣٠٪ فى المتوسط، ونتيجة لعوامل التعرية الكيميائية على الأعراف وإزالة جزء كبير من السيليكا من التتابعات الحديدية، فإن نسبة الحديد تزداد على طول هذه الأعراف إلى أكثر من ٥٠٪ لتوصلها إلى رتبة الركاز ولذلك



شكل ٤-٢: عينة من رواسب الحديد الشرانطية،
منجم شيرمان بكند.



شكل ٤ – ٣ : عينة مصقولة من ركاز الحديد من منجم شيرمان بكندا

تعرف باسم الأعـراف الحديدية أو أعراف الحديد iron ranges. وتحتوى طبقات الحديد فى هذه التتابعات على عدد من معادن الحديد مـن الأكاسيد أو الكبريتيدات أو الكربونات أو السليكات، ولكن بسبب عوامل الأكسدة السطحية تتحول تلك المعادن إلى ماجنيتيت أو هيماتيت على الأعـراف الحديدية بحيث يكون هذان المعدنان هما الأساس فى هـذا النـوع مـن الركـازات. ويتـم تتجيم هذه الركازات بواسطة المناجم السطحية المفتوحة حيث يكون المنجم على هيئة خندق يبدأ عند أحد طرفى العرف الحديدى ويمتد بطوله، وهـذه أسهل وأرخص طرق التتجيم. وقد تكونت الغالبية العظمى لهذه التتابعات الحديدية مابين ١٩٠٠ و ٢٢٠٠ مليون سنة قبـل الآن. ويعتقد أن السبب فـى تكونها فى هذه الفترة الزمنية أن الغلاف الجوى للأرض كـان خاليا مـن الأكسجين فى الأصل، ولذلك كان كل الحديد الذى يتحرر من الصخور نتيجة تحللها بالتجوية بالإضافة إلى الحديد المتصاعد مع النشاط البركـانى التحتمائى كان يتجمع فى المحيطـات علـى هيئـة حديدوز وظـل يتركز لمئـات الملايين مـن السنين حتـى بدأت تظهر النباتـات الخضراء فى البحار والمحيطات عند ٢٢٠٠ مليون سنة من الآن، فتصاعد الأكسجين فـى المـاء وزاد تركيز، بالتدريج فتأكسد الحديد وتحول من الحديدوز الذائب فى المـاء إلى الحديديك الذى ترسب فورا على هيئة معادن متعددة حسب البيئة الكيميائية التى حدث فيها الترسيب. ثم انطمرت هذه التتابعات تحت تتابعات أخـرى من الصخور الرسوبية، ثم انحسر عنها البحر و عادت للظهور على السطح نتيجة لعوامل التعرية التى أزالت غطاءها الصخرى. وتوجد هذه الركـازات بكثرة فـى منطقة البحيرات العظمى بأمريكا الشمالية ما بين الولايات المتحدة وكندا وفـى البرازيل واستراليا وفنزويلا والهند وجنوب أفريقيا والصيـن. وفـى

الوطن العربى توجد بعض نوعيات هذا الركاز فى المملكة العربية السعودية والصحراء الشرقية المصرية وموريتانيا.

٢- الحجر الحديدى ironstone: وهو أيضا طبقات رسوبية تتكون أساسا من حبيبات شبه مستديرة من معادن الحديد، ويبلغ قطر الحبيبة حوالى بضعة ملليمترات وتتكون من عدة أغلفة رقيقة متتالية حول مركزها، وتلتحم تلك الحبيبات مع بعضها بأكاسيد حديدية أو مواد رسوبية أخرى، ولذلك يتخذ هذا الركاز مظهرا بطروخيا مميزا. والمعدن الرئيسى فى هذه الحبيبات البطروخية هو الهيماتيت، ولكن يوجد معه أيضا بعض معادن الحديد الأخرى مثل الجوثيت (هيدروكسيد الحديد) أو الشاموزيت (سليكات الحديد). وتتراوح نسبة الحديد فى هذه الركازات ما بين ٢٠ إلى ٤٠٪. ويتراوح سمك طبقات الحجر الحديدى ما بين ٥٠ سم إلى حوالى ١٥ مترا غالبا. وبالرغم من أن معظم هذه الركازات تحتوى على نسبة عالية من الفوسفور مما يسبب مشاكل فى عمليات الاستخلاص، إلا أن احتوائها أيضا على نسبة من الكربونات يساعد كثيرا فى عمليات الصهر فى الأفران العالية. وتتكون ركازات الحجر الحديدى بواسطة العمليات الرسوبية العادية التى تكون الصخور الرسوبية الأخرى، وتتواجد مع طبقات من الحجر الرملى والطفلة. وتوجد أهم هذه الركازات فى فرنسا ولوكسمبرج، وفى الوطن العربى يوجد هذا النوع فى أسوان بمصر وفى المملكة العربية السعودية وليبيا.

ثانيا: الركازات ذات النشأة النارية (الصهارية):

تنشأ الركازات النارية أثناء تطور الصهارة فى باطن الأرض على أعماق كبيرة ثم تتكشف على سطح الأرض نتيجة عوامل التعرية التى تزيل الصخور التى تعلوها. وتتكون هذه الركازات من بعض الصهارات ذات التركيب المعين الذى يؤدى إلى تركيز الحديد بدرجة كبيرة جدا فى أحد

أجزاء هذه الصهارة ثم انفصال هذا الجزء الحديدى من الصهارة الأصلية وحقنه فى الصخور المحيطة بها أو الصخور التى تعلوها إما على هيئة قواطع أو على هيئة طباقات. وعلى هذا يمكن تقسيم ركازات الحديد الصهارية إلى نوعين رئيسيين:

١- قواطع الماجنيتيت: وتوجد فى الصخور النارية على هيئة قواطع مكونة فى غالبيتها من الماجنيتيت مع بعض الأباتيت (معدن نارى يتركب من فوسفات الكالسيوم)، وأهم مثل لتلك القواطع هو قاطع كيرونا فى السويد الذى يتراوح سمكه من ٩٠ إلى ١٣٠ مترا تقريبا ويمتد لمسافة حوالى ٤،٥ كم تقريبا بين صخور جرانيتية التركيب على الجانبين. وتتراوح نسبة الحديد مابين ٥٦ إلى ٧١٪ تقريبا، وهى تعتبر نسبة عالية جدا، ولكن نسبة الفوسفور تتراوح بين ١ إلى ٣٪ وهى تعتبر نسبة عالية بدرجة غير مقبولة، ولكن تم التغلب على ذلك وتخفيض تلك النسبة إلى الحد المقبول بطرق خاصة.

٢- طباقات الحديد النارية: وتوجد هذه الركازات على هيئة طبقات من معادن الحديد *والتيتانيوم فى الصخور النارية المتطبقة*، أو على هيئة كتل وعدسات من نفس المعادن فى بعض الصخور الجرانيتية. وأهم ما يميز هذه الركازات هو احتوائها على نسبة عالية من التيتانيوم بالمقارنة مع قواطع الماجنيتيت التى تتميز بزيادة نسبة الفوسفور بصورة واضحة، وهذا يرجع إلى التركيب الأصلى للصهارة ومراحل تطورها. وأهم مثل للركازات الطباقية هى ركازات البوشفيلد فى جنوب أفريقيا، وأهم مثل للركازات الكتلية والعدسية تلك المنتشرة فى ولاية نيويورك.

ثالثا: ركازات الحديد التحولية: وتنشأ هذه الرواسب نتيجة عمليات التحول التى تحدث للصخور نتيجة تعرضها لدرجات الحرارة والضغوط العالية، والتى قد يصاحبها التأثر بالمحاليل والغازات المتصاعدة من الصهارات.

استخلاص الحديد من ركازاته:

يستخلص الحديد من ركازاته ثم يحول إلى منتجات متعددة بطرق كثيرة معقدة وتعتبر من التكنولوجيات العملاقة التى تتطلب استثمارات ضخمة وتعتبر أيضا من الدلالات على التقدم الصناعى للأمم. وأول خطوة فى استخلاص الحديد من ركازاته هى اختزال هذه الركازات بواسطة فحم الكوك والهواء و الحجر الجيرى فى الأفران العالية blast furnaces والتى ينتج عنها ما يعرف بالحديد الخام pig iron، ومنه يتم إنتاج ثلاثة منتجات رئيسية للحديد هى:

١- الحديد الزهر cast iron: ويتم إنتاجه فى مسابك خاصة من الحديد الخام مباشرة ويحتوى على نسبة عالية من الكربون وبعض الشوائب الأخرى، ويتميز بسهولة صهرة وصبه فى قوالب، ولذا يسهل تصنيعه إلى أشكال متعددة، كما يتميز بشدة تحمله للحرارة ومقاومته للصدأ، ولكن يعيبه أنه هش ويتكسر أو يتشقق اذا تعرض للطرق. ولذلك فإن أفضل استخدامات له فى المواقد وفى مواسير الصرف الصحى والمزاريب وبلوكات الآلات وأغطية غرف التفتيش وما شابه ذلك.

٢- الحديد المطاوع wrought iron: وينتج من الحديد الخام بعد تخليصه من الكربون والشوائب الأخرى إلى حد كبير ويعتبر أنقى من الحديد الزهر، ولذلك يتميز بمقاومته للصدمات مع الليونه حيث يمكن طرقه وسحبه بسهولة وكذلك تشكيله على الساخن وثنيه على البارد دون أن يتشقق، ولذلك فهو

يصلح لصناعة مواسير المياه والسلاسل والمسامير والمفصلات والصواميل والورد وما شابه ذلك.

٣- الصلب steel: وهو أكثر منتجات الحديد تنوعا واستخداما، وأهم ما يميزه هو احتوائه على نسب محددة من الكربون تتراوح بين ١ و ١,٦٪ مع بعض العناصر الأخرى بنسب محددة أيضا. ولكل نوع من أنواع الصلب صفات مميزة حسب العناصر المضافة إليه ونسبها. ويتم إنتاج الصلب من الحديد الخام بتخليصه من الكربون والشوائب الأخرى أولا وعلى الأخص الفوسفور والكبريت، ولذلك يفضل أن يكون الركاز الأصلي الذى سيصنع منه الصلب خاليا تقريبا من هذين العنصرين، وبعد ذلك تضاف العناصر الأخرى مع الكربون إلى الحديد النقى بالنسب اللازمة لإنتاج الصلب بالمواصفات المطلوبة.

إنتاج واحتياطيات ركازات الحديد:

يقدر أن احتياطيات الحديد المتوفرة فى العالم الآن تكفى لحوالى ٣٠٠ سنة قادمة. وقد بلغ إنتاج ركازات الحديد حوالى ٦٥٠ مليون طن فى عام ١٩٦٦ وازداد إلى حوالى ٩٣٦ مليون طن فى عام ١٩٨٧. وتبين الإحصائيات أن أهم الدول المنتجة لركازات الحديد هى الاتحاد السوفييتى السابق والصين والبرازيل واستراليا والهند وكندا وأمريكا. أما إنتاج الصلب العالمى فقد بلغ حوالى ٧٣٣ مليون طن فى عام ١٩٨٧، وأهم الدول المنتجة كانت الاتحاد السوفييتى السابق واليابان وأمريكا والصين وألمانيا وإيطاليا والبرازيل.

ركازات الحديد فى العالم العربى:

يوجد احتياطى لا بأس به لركازات الحديد بالعالم العربى قدرت فـى عـام ١٩٧٤ بما يزيد على ١٠٥٠٠ مليون طن موزعة كالآتى:

الجزائر	٤٤٧٧ مليون طن.
ليبيا	٣٠٢٨ مليون طن.
مصر	٨٢٢ إلى ٩٨٢ مليون طن.
السعودية	٥٢٩ مليون طن.
تونس	٥٠٠ مليون طن.
موريتانيا	٤٨٨ مليون طن.
السودان	١٠٧ إلى ١٤٨ مليون طن.
المغرب	١١٨ مليون طن.
سوريا	١١٦ مليون طن.

وتشير الدلائل الجيولوجية إلى احتمال وجود رصيد إضـافى مؤمـل فيـه مـن . خامات الحديد يبلغ بضعة آلاف مليون طن.

وقد بلغ إنتاج ركاز الحديد فى العالم العربى فى عام ١٩٨٨ كالآتى:

موريتانيا	١١,٤ مليون طن.
الجزائر	٢,٨ مليون طن
مصر	٢,٥ مليون طن
تونس	٠,٣ مليون طن
المغرب	٠,٢ مليون طن
المجموع	١٧,٢ مليون طن

وقد بلغ إنتاج الصلب فى العالم العربى حوالى ٦ مليون طن عـام ١٩٩٠ بينما بلغ الاستهلاك حوالى ١٢ مليون طن فـى نفس العـام، ومـن المتوقـع أن يزيد الاسـتهلاك إلـى ٢٠ مليـون طـن عـام ٢٠٠٥، ولا يتوقـع زيـادة الإنتـاج بنفس المعدل، ولذلك فإن المتوقع هو زيادة الفجوة بين الإنتاج والاستهلاك.

الفصل الخامس

معادن الفلزات الحديدية

١- معادن المنجنيز

المنجنيز هو العنصر الثانى عشر فى الشيوع فى القشرة الأرضية، ويبلغ متوسط شيوعه حوالى ٠,١٪، وأقل نسبة له فى ركازاته هى ١٥٪، وبهذا يصبح معامل تركيزه هو حوالى ١٥٠. والمنجنيز هو أهم فلزات السبائك الحديدية، ولذلك يرتبط إنتاجه ارتباطا وثيقا بإنتاج الصلب، حيث يستخدم حوالى ٩٠٪ من الناتج العالمى للمنجنيز فى صناعة الحديد والصلب، ويستخدم الباقى فى الأغراض الأخرى مثل الصناعات الكيماوية وصناعة الزجاج وصناعة البطاريات الجافة، لذلك فإن إنتاج المنجنيز يأتى فى المرتبة الثانية فى إنتاج الفلزات بعد الحديد. وقد عُرِفَ المنجنيز فى منتصف القرن التاسع عشر، ولكنه لم يستخدم على نطاق واسع إلا فى أواخر ذلك القرن بعد اكتشاف أهميته فى صناعة الصلب، فهو يستخدم لتخليص الصلب من بعض الشوائب الضارة مثل الكبريت كما يستخدم فى عمليات اختزاله، كذلك فإن إضافة المنجنيز إلى الحديد بنسب محددة يكسب الصلب خصائص مميزة.

ومعادن الركاز الرئيسية للمنجنيز هى أكاسيد وأكاسيد مائية، وأهمها البيرولوزيت pyrolusite MnO_2 ويحتوى على حوالى ٦٣٪ منجنيز، ويتبلور فى فصيلة الرباعى وتتخذ بلوراته المكتملة الشكل الهرمى المزدوج الثمانى الأوجه octahedron ويتميز بمخدشه الأسود الحديدى أو الأسود البنى وبريقه الفلزى، ونادرا ما يوجد على هيئة بلورات مكتمله ولكنه كثيرا ما يتخذ الشكل الكلوى. يأتى فى المرتبة الثانية فى الأهمية بعد البيرولوزيت

معدن البسيلوميلان psilomelane $Mn_2O_3.xH_2O$ وهو أكسيد مائى يحتوى على عدد غير محدد من جزيئات ماء التبلور، ويتبلور فى فصيلة أحادى الميل ويتميز ببلورات إبرية الشكل وبصلادته المنخفضة ولذلك فإنه يلطخ اليد أو يرسم على الورق بلون أسود حديدى. وأهم معادن المنجنيز الغير أكسيدية الرودوكروزيت rhodocrocite $MnCO_3$ ويتميز ببلوراته المعينية الشكل و لونه الوردى ويحتوى على ٤٧,٦٪ منجنيز. وتؤثر عوامل التجوية على معادن المنجنيز فينطلق المنجنيز على هيئة أكاسيد مائية يعاد ترسيبها عل جوانب الشقوق الصخرية بأشكال شجرية مميزة ذات لون أسود قاحل يطلق عليها اسم شجيرات المنجنيز manganese dendrites وهذه الشجيرات تتكون من البسيلوميلان أو من خليط من أكاسيد المنجنيز المائية غير المتبلورة، وهى تشبه الليمونيت بالنسبة لمعادن الحديد، ولذا يساهم المنجنيز فى إضفاء اللون الأسود على الصخور من خلال انتشار هذه الأكاسيد المائية غير المتبلورة، حتى لو وجدت بنسب قليلة، وإذا وجدت هذه الأكاسيد المائية غير المتبلورة فى كتل كبيرة يطلق عليها اسم واد wade، وتعتبر ركازا جيدا إذا كانت بكميات كبيرة، تماما مثل الليمونيت بالنسبة للحديد.

ركازات المنجنيز:

توجد للمنجنيز أربعة أنواع من الركازات هى:

١ - **الركازات الرسوبية:** وهى تعتبر صخورا رسوبية من نوع خاص يتركز فيه المنجنيز بنسب تزيد عن ١٥٪، وتتكون مثل هذه الرواسب فى بيئات متعددة مثل مياه البحيرات العذبة أو مياه البحار والمحيطات الضحلة والعميقة على حد سواء. وتوجد هذه الرواسب على هيئة طبقات قليلة السمك لا تزيد غالبا عن ٣ أمتار سمكا، ولكنها ذات امتداد أفقى كبير مصاحبة لطبقات

الطفال والحجر الجيرى والحجر الرملى والصوان أحيانا، وفى هذه الرواسب يأتى المنجنيز من تجوية الصخور على السطح ثم يتم نقله على هيئة محاليل ذاتية أو محاليل غروية، ثم يتم ترسيبه بالأكسدة أو بواسطة البكتيريا على هيئة غروية تتم بلورتها بعد ذلك على هيئة معادن أكسيدية، وغالبا ما تكون تلك الرواسب ذات جودة منخفضة لا تزيد فيها نسبة المنجنيز كثيرا عن ١٥٪، ولكن عوامل التركيز التخلفية تزيد من هذه النسبة كثيرا (أنظر بند ٢ التالى).

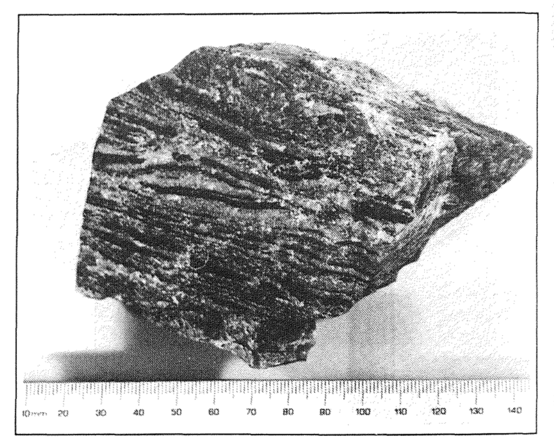
٢- الركازات التخلفية: تتكون هذه الركازات نتيجة تعرض الصخور بأنواعها المختلفة والمحتوية على نسب من المنجنيز فى بعض معادنها لعوامل التجوية الكيميائية الشديدة فى المناطق الاستوائية أو المدارية التى تتميز بالحرارة العالية والأمطار الكثيفة، فيؤدى ذلك إلى تحلل الصخور إلى مكونات ذائبة تزال بواسطة الأمطار الشديدة، ومواد غير ذائبة متخلفة منها أكاسيد المنجنيز، فإذا كان الصخر فى الأصل يحتوى على نسبة محسوسة من المنجنيز، فإن هذه النسبة تزيد بدرجة ملحوظة فى المواد المتخلفة، وبهذا يمكن تكون ركازات المنجنيز من الصخور العادية، أو رفع رتبة ركازات أصلية منخفضة الرتبة بزيادة نسبة المنجنيز بها عن طريق إزالة المواد غير المرغوبة منها، وتسمى هذه الطريقة بطريقة التركيز التخلفى residual concentration، وهى أيضا نفس الطريقة التى تزيد من نسبة الحديد فى رواسب الحديد الطباقية كما سبق شرحه. وتوجد هذه الركازات على هيئة طبقات أو عدسات غير منتظمة على السطح مباشرة إذا كانت حديثة التكون، أو ضمن التتابعات الرسوبية إذا كانت قد تكونت فى عصور جيولوجية قديمة.

وتعتبر الركازات الرسوبية والتخلفية من أهم رواسب المنجنيز فى العالم والتى تمده بالجزء الأكبر من الإنتاج وتحتوى على الجزء الأكبر من الاحتياطى. وتوجد فى مناطق نيكوبول فى أوكرانيا وشياتورا فى القوقاز، وفى الهند وساحل العاج والجابون وجنوب أفريقيا وزيمبابوى والبرازيل واستراليا ومصر.

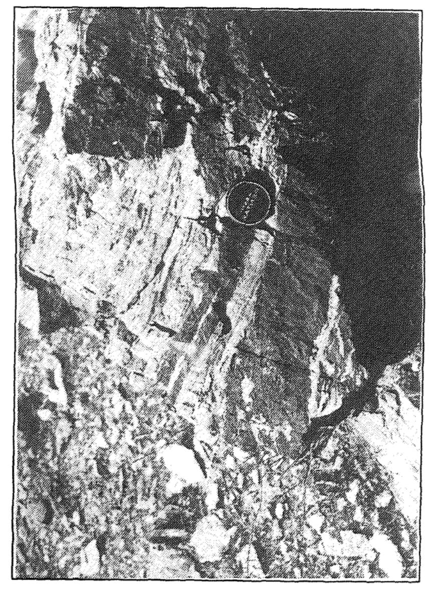
٣- **الركازات التحولية:** تتكون ركازات المنجنيز التحولية بتأثير عمليات التحول على الركازات الرسوبية أو الركازات التخلفية، وأثناء عمليات التحول تتم إعادة بلورة معادن المنجنيز وتخلص الركازات من بعض الشوائب غير المرغوبة، وقد يؤدى ذلك إلى رفع رتبة الركاز إلى حد كبير أو تحول بعض الرواسب التى لم تكن تعتبر ركازا (أقل من ١٥٪ منجنيز) إلى ركازات تحتوى على نسب من المنجنيز أعلى من ١٥٪، ولكن هذه الرواسب التحولية قليلة الانتشار، وتعتبر رواسب إمارة الفجيرة من هذا النوع (شكل ٥-١، ٢).

٤- **الركازات الحرمائية:** وتوجد هذه الرواسب مصاحبة لرواسب الفلزات الأخرى مثل القصدير أو النحاس فى العروق الحرمائية، وهى العروق التى تتكون فى الشقوق الصخرية على أعماق كبيرة فى باطن الأرض نتيجة الترسب من محاليل ساخنة، وغالبا ما يكون المعدن الركازى هو الرودوكروزيت، ولذلك تعتبر من الرواسب منخفضة الرتبة، أو يكون المنجنيز فيها ناتجا ثانويا للفلزات الأخرى مثل النحاس فى مونتانا بأمريكا أو فى كورنوال بانجلترا.

٥- **عقد المنجنيز فى قاع المحيط:** وهى الآن غير مستغلة ولا تدخل ضمن احتياطيات العالم، ولكن من المتوقع أن تدخل نطاق الإنتاج فى المستقبل القريب. وهذه الركازات عبارة عن كتل وحبيبات ذات أشكال وأحجام مختلفة



شكل ٥ – ١ : عينة من رواسب المنجنيز فى إمارة الفجيرة



شكل ٥ – ٢ : طبقات المنجنيز في إمارة الفجيرة

يصل قطرها إلى بضعة سنتيمترات، وقد يزيد عن ذلك كثيرا، وتتكون أساسا من أكاسيد المنجنيز و الحديد مع كميات متباينة من النيكل والنحاس والكوبالت التى تصل فى بعض المناطق إلى ٢٪. وهناك تقديرات مبدئية لاحتياطيات هذه العقد تقدر بحوالى ١,٧ تريليون طن تحتوى على ٤٠٠ بليون طن منجنيز علاوة على ١٦,٤ بليون طن نيكل و٨,٨ بليون طن نحاس و٩,٨ بليون طن كوبالت. وتتكون هذه العقد نتيجة الترسيب من مياه البحر بطرق لا زال يكتنفها الكثير من الغموض، ولكن فى معظم الحالات يتم الترسيب حول نواة من أى مادة فتاتية على قاع المحيط.

وقد بلغ الإنتاج العالمى للمنجنيز عامى ١٩٨٦ و١٩٨٧ بالمليون طن منجنيز فى ركازات يتراوح محتواها من المنجنيز بين ١٥ إلى ٥٠٪ كالآتى:

الدولة	١٩٨٦	١٩٨٧
استراليا	١,٥٢٥	١,٦٨١
البرازيل	٢,٢٠٠	١,٥٠٠
الجابون	٢,٥٨٢	٢,٣٥٠
الهند	١,٢٤٠	١,٢٠٠
غانا	٠,٣١٥	٠,٢٩٥
المكسيك	٠,٤٧٥	٠,٤٥٠
جنوب أفريقيا	٣,٧١٩	٢,٨٩٢
الاتحاد السوفييتى	٩,٩٠٠	٩,٩٠٠
الجملة	٢١,٩٥٦	٢٠,٤٨٨

ومن المتوقع أن يتزايد الطلب على المنجنيز بمعدل ٣٪ سنويا حتى سنة ٢٠٠٠ فيصبح حوالى ٣٢,٣ مليون طن. ويقدر الاحتياطى الهالمى من

المنجنيز حاليا بحوالى ٦ بليون طن على الأقل فى ركازات تتباين كثيرا فى رتبها مما يستلزم خلط الركازات المنخفضة الرتبة بركازات عالية الرتبة حتى يمكن الاستفادة بها، فالركازات ذات الرتبة المنخفضة لا يمكن استخدامها إلا استخدامات محدودة، ولكنها فى معظم الأحوال تحتاج إلى معالجات مكلفة جدا لاستخدامها فى صناعة الصلب، ولذا يفضل من النواحى الاقتصادية خلطها بالركازات عالية الرتبة. ولهذا فبالرغم من توافر احتياطيات ضخمة من ركازات المنجنيز إلا أن المحك الرئيسى هو توافر ركازات عالية الرتبة (أكثر من ٣٥٪ منجنيز) لاستخدامها لخلط الركازات ذات الرتبة المنخفضة. وتملك جنوب أفريقيا احتياطيات ضخمة من الركازات عالية الجودة، ولذلك من المتوقع أن تسود تجارة ركازات المنجنيز فى المستقبل القريب بعد بداية نضوب الاحتياطيات المحدودة لمثل هذه الركازات فى كل من الجابون واستراليا والبرازيل والهند.

٢- الكوبالت

الكوبالت هو العنصر السابع والعشرين فى الجدول الدورى للعناصر، ويبلغ متوسط شيوعه فى صخور القشرة الأرضية ٢٠ جزء فى المليون، وأكثر الصخور احتواء عليه هى الصخور القوقمافية إذ يصل تركيزه فيها إلى حوالى ٢٠٠ جزء فى المليون. والكوبالت من العناصر الهامة للعمليات الحيوية فى الأحياء، ووجوده فى التربة بنسبة ٥ أجزاء فى المليون ضرورى لصحة التربة والغذاء الناتج منها. وقد لاحظ بعض مربى الماشية فى كندا ظهور بعض الأعراض المرضية على ماشيتهم فى بعض المناطق التى تقل فيها نسبة الكوبالت عن النسب العادية فى التربة.

ويعتبر الكوبالت من الأمثلة الجيدة على ما يسمى بالفلزات الاستراتيجية، وهى الفلزات التى لايعتمد توافرها فى الأسواق على العرض والطلب فقط ولكن تتدخل عوامل أخرى فى تحديد إمكانية الحصول عليه، منها عوامل سياسية. وأهم العوامل التى تتحكم فى هذا الأمر بالنسبة للكوبالت هى:

١- معظم مصادر الكوبالت موجودة فى دول نامية لا تحتاجه كثيرا، بينما الطلب الأساسى عليه يأتى من الدول الصناعية المتقدمة التى لا تمتلك مصادر كافية منه.

٢- يكاد يكون إنتاج الكوبالت كله كناتج ثانوى أو كناتج مصاحب لفلزات أخرى مثل النحاس والفضة والنيكل، فلا توجد ركازات خاصة للكوبالت فقط فيما عدا مناجم بوعزر بالمغرب، ولذلك فإن اقتصادياته تعتمد على اقتصاديات فلزات أخرى.

٣- يدخل الكوبالت فى كثير من الصناعات الحربية أو الصناعات المتصلة بها.

وقد أدت أحداث ثورة إقليم كاتنجا فى زائير عام ١٩٨٧ إلى التوقف الفجائى للنشاط التعدينى بها وهو ينتج حوالى ٥٠٪ من احتياج العالم من الكوبالت، ولهذا ارتفع سعره فجأة من حوالى ٧ دولار للرطل إلى حوالى ٢٧ دولار للرطل، ووصل فى السوق الحرة إلى ما يزيد عن ٤٠ دولار للرطل، وظل سوق الكوبالت مضطربا حتى عادت الأمور إلى مجاريها فى أوائل الثمانينات. وربما يظل هذا الحدث ماثلا فى الأذهان إلى فترة طويلة ويساهم فى اعتبار الكوبالت من الفلزات الاستراتيجية.

استخدامات الكوبالت:

كان أول من استخدم مركبات ومعادن الكوبالت قدماء المصريين لتلوين النقوش والزجاج والخزف باللون الأزرق المميز، وقد أخذته عنهم بعض

الحضارات الأخرى. وكان أول اكتشافه كفلز فى 1780 وأول تعدين لبعض ركازاته فى ١٨٦٠ ثم توالى إنتاجه فى كندا وزانير فى أوائل القرن العشرين. وهناك ثلاث مجالات أساسية لاستخدام الكوبالت وهى:

١- يستخدم الفلز النقى فى كثير من السبائك الهامة مثل سبيكة الألومنيوم-النيكل-الكوبالت (٣٠ من إنتاج الفلز) لتصنيع المغناطيسات الدائمة حيث أن للكوبالت خاصية المغناطيسية مثل الحديد بل ربما أفضل منه، وهذه المغناطيسات الدائمة تستخدم فى المحركات الكهربية الصغيرة بكفاءة تفوق المغناطيسات الكهربية كثيرا مما يجعل تشغيلها بالبطاريات الجافة سهلا ميسورا، وهذا له أهمية كبيرة فى مركبات الفضاء وبعض المعدات الحربية. كما أن السبائك الحديدية التى يدخل فيها الكوبالت تعتبر سبائك فائقة superalloys تتميز بالصلادة الشديدة فى درجات الحرارة العالية وهذه مطلوبة جدا فى المحركات النفاثة ومركبات الفضاء التى تعود إلى الأرض. كما تستخدم بودرة الفلز كمادة لاحمة لكربيدات التنجستن والسيليكون لصناعة المناشير ومعدات القطع والحفر والتخريم فى المواد ذات الصلادة العالية .

٢- تستخدم مركبات الكوبالت فى الصناعات الكيميائية لإنتاج الأصباغ . وتلوين الزجاج والمينا ولإسراع تجفيف الألوان الزيتية وتثبيتها وتخليص المنتجات البترولية من الكبريت، كما تدخل أيضا فى المطاط الذى تصنع منه الإطارات.

٣- قذف الكوبالت بالنيوترونات يحوله إلى نظير الكوبالت ٦٠ وهو نظير مشع عمر نصفه ٥,٣ سنة، ويستخدم بكفاءة عالية فى الطب خاصة فى علاج السرطان كما يمكن استخدامه حربيا لإنتاج قنبلة الكوبالت التى تقضى على الحياة فى مناطق شاسعة لسنوات عديدة.

معادن الكوبالت:

بالرغم من أن الكوبالت يعتبر من الفلزات النزرة إلا أن معادنه الركازية تعتبر كثيرة إلى حد ما، ولكنها أيضا تعتبر من المعادن النادرة الوجود. وتتأكسد المعادن الأولية بفعل العوامل الجوية وتتحول إلى معدن ثانوى ذو لون أحمر قاتم يسمى إريثريت ويعتبر من المعادن الركازية أيضا.

ركازات الكوبالت واقتصادياتها:

يمكن تقسيم الركازات التى يستخرج منها الكوبالت إلى الآتى:

١- **الرواسب الحرمائية**: وهى عبارة عن كتل عدسية الشكل أو عروق تحمل معادن الكوبالت الأولية وتوجد فى صخور جرانيتية متحولة، وأهم مثل لها ركازات منطقة بوعزر فى المغرب، حيث توجد الركازات على طول تركيب جيولوجى بسمك يتراوح من ١٥ إلى ٣٦ مترا وبامتداد حوالى ٤٦ كيلومترا، ويصل متوسط نسبة الكوبالت فى هذه الركازات إلى حوالى ١,٢٪. ويوجد فى أيداهو بأمريكا راسب شبيه به يحتوى على ٠,٦٪ كوبالت ويقدر الاحتياطى به بحوالى ٥٠,٠٠٠ طن كوبالت ولكنه غير منتج حاليا. ويعتبر هذين الراسبين هما الوحيدين الذين ينتج منهما الكوبالت كمنتج أساسى، أما الرواسب التالية فتعطى الكوبالت كناتج ثانوى، ولذا ستوصف هنا باختصار حيث سيجىء وصفها تفصيليا مع فلزاتها الرئيسية.

٢- **الرواسب الطباقية ذات الأصل الرسوبى**: وهى رواسب نحاس أصلا وتكون حزام النحاس الأفريقى African Copperbelt الممتد فى كل من زامبيا وزائير لمسافة ٥٠٠ كيلومتر تقريبا، وتوجد فيها معادن الكوبالت مصاحبة لمعادن النحاس وتتراوح نسبته فيها ما بين ٠,٢ إلى ٠,٤٪ مع نسبة من النحاس متوسطها ٣,٥٪.

٣- الركازات المصاحبة للصخور النارية المافية وفوق المافية:

ويوجد فيها الكوبالت مصاحبا للنحاس والنيكل على هيئة أجسام عدسية أو على هيئة عروق فى صخور مافية وفوق مافية، وأهم مثال لهذه الركازات منطقة سودبرى فى كندا حيث متوسط نسبة النيكل0,07 ٪ ومنطقة أخرى فى فنلندا حيث متوسط نسبة النيكل حوالى ٠,٢٪

٤- الركازات التخلفية: وهذه الركازات تنشأ نتيجة عملية التركيز التخلفى لصخور أصلية كانت تحتوى على نسبة زائدة من الكوبالت بمصاحبة فلزات أخرى مثل الحديد والنيكل، وتوجد مثل هذه الركازات فى كوبا والفلبين واستراليا.

وقد بلغ إنتاج الكوبالت فى عام ١٩٨٧ باستثناء دول الكتلة الشرقية حوالى ٢٢,٣٣٩ ألف طن، وقدر إنتاج الاتحاد السوفييتى السابق فى نفس العام بحوالى ٣٠٠٠ طن. أما فى العامين السابقين فقد بلغ ٢٥,٨١١ ألف طن فى ١٩٨٦ و ٢١,٨٤٢ فى ١٩٨٥. وفى أواخر ١٩٨٦ أعلنت كل من زائير وزامبيا عن تثبيت سعر إنتاجهما من الكوبالت عند ٧ دولار للرطل مما أدى إلى استقرار سوق الكوبالت إلى حد كبير. ومن المعروف أن جزء من الاستهلاك العالمى للكوبالت يأتى من إعادة استخلاصه من المتروكات recycling (إعادة تدويره)، وقد بلغ هذا الجزء حوالى ١٥٠٠ طن عام ١٩٧٨. وقدر الاحتياطى المؤكد للكوبالت عام ١٩٨٧ بحوالى ٣,٨٠٠ مليون طن أما الاحتياطى الجيولوجى فقدر بحوالى ٩,٢٠٠ مليون طن.

٣- معادن الكروم

اشتق هذا الفلز اسمه من كلمة chroma اللاتينية التى تعنى لون، وذلك لأن بعض مركباته ذات ألوان زاهية، وقد كان أول اكتشاف للفلز عام ١٧٩٧، ويجيء الكروم فى المرتبة الرابعة بين الفلزات من ناحية كم الإنتاج، وأكثر الدول إنتاجا له جنوب أفريقيا وأكثر الدول استهلاكا له الولايات المتحدة الأمريكية. وكان أول تعدين لركاز الكروم فى النرويج عام ١٨٢٠، ثم فى ماريلاند بأمريكا عام ١٨٢٧، ويشغل الكروم الموقع الخامس والعشرين فى الجدول الدورى للعناصر، أى قبل الحديد مباشرة.

ركازات الكروم واستخداماتها:

بالرغم من أن الكروم أكثر شيوعا من بعض الفلزات الأخرى إلا أن مصدره ينحصر فى معدن واحد فقط وهو الكروميت chromite، ولعل الكروم هو الفلز الوحيد الذى تقيم خاماته ليس على أساس نسبته فى الخام ككل ولكن على أساس نسبة الفلز وبعض المكونات الأخر فى المعدن نفسه، بغض النظر عن نسبة المعدن فى الخام كله. وتحسب هذه المكونات على هيئة نسبة الأكسيد فى المعدن. والرمز الأساسى النظرى للكروميت هو أكسيد الحديد والكروم $FeCr_2O_4$ أو بصورة أخرى $FeO.Cr_2O_3$، وهذا الرمز يحتوى على ٨٦٪ أكسيد كروم Cr_2O_3. ولكن نادرا ما يوجد الكروميت بهذا التركيب المثالى، فغالبا ما تحل بعض الفلزات الأخرى محل الحديد أو الكروم، مما يؤدى إلى تغير التركيب الكيميائى للمعدن فى مصادره المختلفة، وعلى هذا الأساس يمكن تقسيم ركازات الكروميت إلى النوعيات الثلاثة الآتية:

١- الركازات الفلزية metallurgical ores: ويشترط فيها ألا تقل نسبة أكسيد الكروم عن ٤٨٪، وأن تكون نسبة الكروم إلى الحديد ٣:١ أو أكثر وألا تزيد نسبة السيليكون عن ٨٪. ويستخدم هذا الركاز لاستخلاص الكروم الذى يستخدم فى إنتاج السبائك الحديدية الشديدة المقاومة للتآكل، كما يستخدم الفلز فى الطلاء الفلزى المقاوم للصدأ وذى اللمعان الشديد مثل الأجزاء الفلزية للسيارات، ويمثل هذا حوالى ٦٠٪ من استخدامات الكروميت.

٢- الركازات الحرارية refractory ores: ويشترط فيها ألا تقل نسبة أكسيد الكروم عن ٣١٪ وأن يكون مجموع أكسيدى الكروم والألومنيوم حوالى ٥٨٪ وألا يزيد الحديد عن ١٢٪ والسليكون عن ٦٪. ويستخدم هذا الركاز فى إنتاج الطوب الحرارى لتبطين الأفران ذات الحرارة العالية، ويمثل حوالى ٢٠٪ من استخدامات الكروميت.

٣- الركازات الكيميائية chemical ores: ويشترط فيها ألا تقل نسبة أكسيد الكروم عن ٤٤٪ وألا تزيد نسبة السيليكون عن ٥٪ وأن تكون النسبة بين الكروم والحديد حوالى ١،٦٪. وتستخدم هذه الركازات فى إنتاج المركبات الكيميائية المستخدمة فى إنتاج الأصباغ والدهانات وفى دباغة الجلود وكعوامل مؤكسدة، وفى أغراض أخرى، كما يستخدم أكسيد الكروم المسحوق فى التلميع. وتشكل هذه الاستخدامات حوالى ٢٠٪ أيضا.

أنواع ركازات الكروميت:

تنحصر ركازات الكروميت الأولية بمصاحبة الصخور فوق المافية فى بيئتين مميزتين، تسمى النوعية الأولى رواسب الكروميت الطباقية وتسمى النوعية الثانية رواسب الكروميت العدسية:

١- ركازات الكروميت الطباقية stratiform chromite deposits:

وتوجد هذه الرواسب مصاحبة للتداخلات المافية-فوق المافية الطباقية، وهى تجمعات هائلة الحجم من الصخور النارية التى تأخذ غالبا وضعا طباقيا أفقيا وتمتد إلى مئات الكيلومترات طولا وعرضا و يصل سمكها إلى بضعة آلاف من الأمتار. وتتكون هذه المجمعات من الصخور النارية نتيجة صعود كميات هائلة من الصهارة البازلتية (مادة الصخور فى حالة منصهرة) من وشاح الأرض وحقنها فى صخور القشرة الأرضية ثم تبريدها ببطء فتتكون منها بلورات المعادن النارية تباعا وترسب إلى القاع وتتجمع فيه على هيئة طباقات متتالية نتيجة تصنيف البلورات حسب ثقلها النوعى، وحيث أن الكروميت أول المعادن المتكونة من الصهارة عند تبريدها وأثقل هذه المعادن أيضا، فإنه يُكَوِّن الطبقة السفلى دائما فى أى تجمع صخرى نارى. وقد تتكون عدة طباقات من الكروميت تفصل بينها طباقات من الصخور النارية الأخرى نتيجة الحقن المتتالى للصهارة على فترات زمنية متباعدة، فتكون كل محقونة طباقة من الكروميت فى قاعها تغطيها صخور نارية أخرى قبل حقن الصهارة التالية. وأروع مثل لهذا التتابع النارى الطباقى هو مجمع البوشفلد فى الشمال الشرقى لدولة جنوب أفريقيا والذى وصف على أنه أروع تجمع للصخور النارية فى العالم، حيث يوجد على هيئة وعاء بيضاوى الشكل يبلغ طوله حوالى ٥٠٠ كيلومتر وعرضه حوالى ١٠٠ كيلومتر وسمكه حوالى ٥٠٠٠ متر ويوجد فى جزئه السفلى عدد من طباقات الكروميت التى تتميز بالانتظام الشديد، فقد أمكن تتبع إحدى هذه الطباقات لمسافة ٦٥ كيلومترا بسمك ثابت يبلغ حوالى متر وتركيب كيميائى ثابت للكروميت. ويحتوى البوشفلد على احتياطى جيولوجى يقدر بحوالى ٦٣٠٠ مليون طن وهو يشكل حوالى ٨٥٪ من الاحتياطى العالمى، كما يوجد فى زيمبابوى تجمع مشابه

للبوشفلد يحتوى أيضا على طباقات الكروميت تقدر احتياطياته الجيولوجية بحوالى ٨٣٠ مليون طن، ولذلك تتحكم هاتان الدولتان فى إنتاج الكروميت إلى حد كبير، فهما تملكان حوالى ٩٠٪ من احتياطى الكروميت المعروف حتى الآن. ويوجد أيضا فى مونتانا بأمريكا تجمع مشابه ولكنه أصغر حجما وليست به ركازات ذات بال. كما يوجد فى الدرع العربى بالمملكة العربية السعودية ما يزيد عن ٢٠ تجمعا ناريا طباقيا، ولكنها كلها من الحجم الصغير الذى لا يزيد عن بضعة كيلومترات طولا وعرضا، ولا تحتوى على ركازات للكروميت، ويبدو أن تكون هذه الركازات مرتبط بالحجم المهول للصهارة الأصلية.

٢- ركازات الكروميت العدسية (أو الكتلية) podiform ores:

وتوجد على هيئة كتل غير منتظمة الشكل أو عدسية الشكل تتراوح كثيرا فى أبعادها بين بضعة أمتار إلى عدة مئات من الأمتار، وهى لهذا أقل أهمية من الركازات الطباقية ولو أنها غالبا ما تكون من رتبة أعلى. ويعيب هذه الركازات أيضا صعوبة البحث عنها وتتبعها أثناء تعدينها لأنها دائما ما تكون قد تعرضت لعمليات التشوه والطى المعقدة. ويعتقد أن معظم هذه الركازات قد تكونت بمصاحبة تتابعات الأفيوليت التى تشكل أجزاءا من القشرة المحيطية التى تموضعت على اليابسة نتيجة العمليات التكتونية المعقدة التى أدت إلى صعود أجزاء من قاع المحيط على القارات، وأروع مثل لذلك تتابع أفيوليت جبال عمان الذى يمتد من سلطنة عمان إلى الإمارات العربية المتحدة ويحتوى على بعض هذه الركازات ولكنها غير مستغلة فى الوقت الحاضر. وتوجد ركازات الكروميت الكتلية فى كثير من الدول التى تقع على سلاسل الجبال الممتدة من الألب إلى الهيمالايا مثل فنلندا وتركيا والفلبين

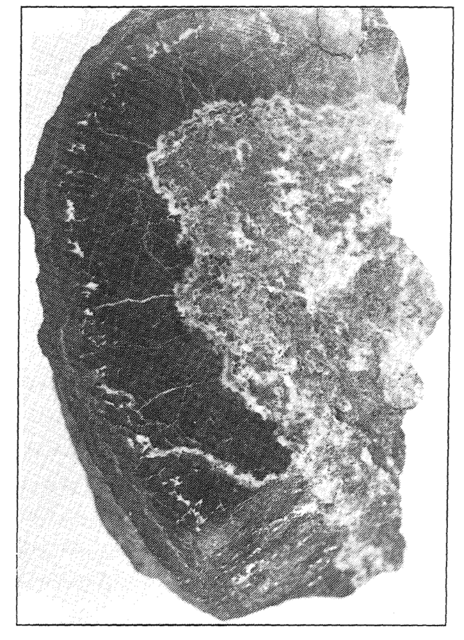
وإيران والباكستان والهند. كما توجد بعض هذه الركازات فى الدرع العربى النوبى فى كل من مصر والسودان والمملكة العربية السعودية.

وقد بلغ الإنتاج العالمى لركازات الكروميت حوالى ١٠,٥٥٦ مليون طن عام ١٩٨٥، و١١,١٠٥ مليون طن عام ١٩٨٦، و١١,٠٤٧ مليون طن عام ١٩٨٧. كما تراوح سعر الطن فى أبريل ١٩٨٨ مابين ٤٠ و ١٢٠ دولارا حسب نوعيته ومصدره حيث كانت أرخص الأسعار لركازات جنوب أفريقيا وأعلاها لركازات الفلبين. وعادة ما تجرى بعض عمليات التركيز البسيطة على ركازات الكروميت قبل إعدادها للتصدير.

٤- معادن النيكل

من المعتقد أن النيكل قد عرف كفلز منذ ٣٠٠٠ سنة تقريبا عندما عرف الحديد، لأن مصدر الحديد الأول كان النيازك الحديدية التى تحتوى على النيكل أيضاء، ويعتقد أن لب الأرض يحتوى على ٥٪ نيكل مع الحديد، وهذا يجعل النيكل خامس العناصر شيوعا فى الأرض ككل. أما فى القشرة الأرضية فشيوعه يختلف كثيرا حسب نوع الصخر، فيصل إلى ١٢٠٠ جزء فى المليون فى الصخور فوق المافية، و ٨ جزء فى المليون فى الصخور الجرانيتية، و ٤٠ جزء فى المليون فى التربة بصفة عامة، أما متوسط شيوعة فى القشرة الأرضية كلها فهو حوالى ١٠٠ جزء فى المليون. وقد استخلص النيكل لأول مرة من ركازاته عام ١٧٥١ ثم بدأت أهميته تظهر عام ١٨٢٠ عندما بدأ استخدامه فى صناعة الدروع فى فرنسا. وقد بدأ استغلال ركازاته فى نيوكاليدونيا عام ١٨٧٥ ثم فى كندا عام ١٨٩٠ التى تبين بعد ذلك أنها تملك أضخم رواسب للنيكل فى العالم وتستغلها أكبر شركة

منتجة للنيكل فى العالم وهى شركة انكو International Nickel Company INCO التى تكونت عام ١٩٠٢.



شكل ٥ – ٣ : خام النيكل بمنطقة سودبرى بكندا

ويستخدم نصف إنتاج النيكل العالمى فى صناعة الصلب حيث أن لـه صفات خاصة تكسب الصلب الصلادة والشدة فى مدى كبير من تغيرات درجة الحرارة، كذلك فإن سبائك النحاس مع النيكل تقاوم التآكل من مياه البحر، ويستخدم النيكل أيضا فى البطاريات.وبعض الصناعات الكيميائية. وتشمل معادن النيكل الأولية الآتى:

١- الميلليريت millerite NiS ويحتوى على ٦٤,٧٪ نيكل.

٢- النيكوليت niccolite NiAs ويحتوى على ٤٣,٩٪ نيكل.

٣- البنتلانديت pentlandite (Fe,Ni)S ويحتوى على ٢٢٪ نيكل.

وعند تعرض هذه المعادن إلى الظروف الجوية فإنها تتأكسد وتتحول إلى معدن ثانوى اسمه الجارنيريت garnierite $H_2(Ni,Mg)SiO_4.nH_2O$ يبقى فى التربة.

ركازات النيكل:

هناك نوعان لركازات النيكل: الأول هو ركازات الكبريتيدات فى الصخور المافية، والثانى هو الركازات التخلفية.

١- **ركازات الكبريتيدات:** وتوجد على هيئة كتل عدسية الشكل أو بأشكال أخرى أو على هيئة عروق أو حبيبات منبثة فى الصخور المافية فى المجمعات النارية الطباقية الكبيرة. وتتكون هذه الركازات من الصهارة المافية عندما تصل فى تطورها أثناء تبريدها إلى تشبعها بالكبريت فيبدأ فى الانفصال عن الصهارة على هيئة نقاط من سائل كبريتى لا يقبل المزج مع باقى الصهارة، ويميل النيكل وبعض الفلزات الأخرى مثل النحاس والفضة والذهب والبلاتين والكوبالت إلى التجمع مع السائل الكبريتى المنفصل من الصهارة ويتركز فيه، وبهذا يصبح السائل الكبريتى أكثر كثافة من الصهارة ويميل إلى التجمع فى قاع الغرفة الصهارية على هيئة طبقة متصلة من

السائل الكبريتي المشبع بالفلزات أو على هيئة كتل منفصلة من السائل الكبريتي تحتل المنخفضات فى أرضية الغرفة الصهارية، وحيث أن درجة انصهار المادة الصهارية أعلا من درجة انصهار السائل الكبريتي المتجمع أسفلها، فإن الصهارة تتجمد تماما قبل السائل الكبريتي الذى يظل سائلا لفترة ما تسمح له بالتحرك استجابة لأى ضغوط عليه من الصخور النارية التى تكونت فوقه، وهكذا يمكن تكون العروق والكتل الكبريتية المختلفة. وأهم مثل لهذا النوع من الركازات هو مجمع سودبرى فى كندا الذى يحتوى على أكبر احتياطى للنيكل فى العالم يصاحبه النحاس والفضة والبلاتين والكوبالت وقليل من الذهب. ويوجد مجمع سودبرى Sudbury Intrusion على هيئة لوحة ضخمة من الصخور النارية لها شكل الملعقة حيث يبلغ طولها حوالى ٥٧ كم فى اتجاه الشمال الشرقى وعرضها حوالى ٢٥ كم فى اتجاه الشمال الغربى ويبلغ سمكها حوالى ٢٠٠٠ متر، وتتكون من صخور فوق مافية فى أسفلها تتدرج إلى أعلى إلى صخور جرانيتية دون وجود أى تطبق، وتتواجد الركازات على الحد السفلى لهذا المجمع إما على هيئة كتل عدسية تسمى الركازات الحدية marginal ores أو على هيئة عروق تسمى الركازات المزاحة off-set ores تكونت على الشقوق والفوالق نتيجة إزاحة السائل الكبريتى قبل تجمده استجابة للتضاغط. ويحتوى مجمع البوشفلد فى جنوب أفريقيا أيضا على رواسب ركازات للنيكل مصاحبا للبلاتين فيما يعرف برصيف ميرنسكى الذى يعتقد أنه تكون أيضا نتيجة انفصال سائل كبريتى غنى بالفلزات وتجمعه على هيئة طبقة مستقلة بين طباقات الصخور النارية الأخرى، ولكن هذه العملية حدثت لفترة وجيزة بعد أن تكونت كثير من طباقات الصخور النارية قبلها نتيجة الحقن المتتالى للصهارة على فترات زمنية متباعدة، ولذلك يوجد رصيف ميرنسكى فى الجزء العلوى من التتابع

الناري حيث تجمعت قبله عدة محتويات سابقة لم تكن تحتوى على الكبريت الكافي لتكون السائل الكبريتي.

ويعتبر مجمع سودبرى فريد فى نوعه من نواحى كثيرة، ولذلك هناك من الجيولوجيين مـن يعتقد أن الشرارة الأولـى لتكون هذا المجمـع هـو ارتطـام نيزك كبير جدا بالأرض فى هذه المنطقة وامتداد أثر الارتطـام إلـى مـا تحت القشرة الأرضيـة فسبب تكون الصهـارة فـى الأعمـاق السحيقة ثـم صعودهـا وحقنها فى مكان الارتطام. ويؤيد هذه النظرية الكثير من الشواهد الجيولوجية فى منطقـة سودبرى وأهمـا مخـاريط الارتطـام التـى تشـاهد بكثرة فـى هـذه المنطقة دون غيرها.

٢- ركازات النيكل فى اللاتيريت: عند تعرض الصخور فوق المافيـة إلـى عوامل التجوية فـى المنـاطق الاستوائية أو المداريـة حيث الحـرارة مرتفعـة والأمطار شديدة، فإنها تتحلل وتذوب منهـا كثير مـن مكوناتهـا الأصليـة مـن المغنيسيوم والسيليكا ويتبقى الحديد بعد أن يتحول إلى أكاسيد وهيدروكسيدات مائية (ليمونيت) تتجمع مع نفايات الصخـور علـى هيئـة مـادة أرضيـة حمـراء تغطـى مسـاحات شاسعة بسمك عدة أمتـار، وتسـمى هـذه المـادة لاتـيريت laterite، وهـو أحـد أنـواع التربـة التـى تتكـون فـى المنـاطق المداريـة والاستوائية. وفى مثل هذه الظـروف تتأكسـد أى معـادن كبريتيديـة للنيكـل إذا كانت موجودة فى الصخور المتجوية ويتحرر منها النيكل ويتحول إلـى معـدن ثانوى هو الجارنيريت الذى يتميز بلونـه الأخضـر، أو يتـم تثبيتـه علـى هيئـة أكاسيد مائية مختلطة بأكاسيد الحديد التى تكون السواد الأعظم فى اللاتيريت، وهكذا يزيد تركيز النيكل عن طريق إذابة جزء كبير مـن مكونـات الصخـور فوق المافية وتخلف النيكل مع أكاسيد الحديد على هيئة لاتيريت، وتسمى هذه العملية التركيز التخلفى residual concentration وتعنى تركيز مادة معينة

عن طريق إزالة المواد الأخرى المصاحبة لها. ويعتبر اللاتيريت المتكون بهذه الطريقة ركازا للنيكل، حيث تصل فيه نسبته إلى ١,٥٪. وتوجد مثل هذه الركازات في نيوكاليدونيا والفلبين وأندونيسيا وكوبا.

٣- عقد المنجنيز في قاع المحيط: سبق ذكرها مع الكوبالت.

إنتاج وأسعار النيكل:

كان الإنتاج العالمي للنيكل في عام ١٩٨٧ باستثناء دول الكتلة الشرقية ٥٣٠ ألف طن بالرغم من أن الطلب عليه في نفس العام كان ٦٣٠ ألف طن، وجاء الفرق جزئيا بسبب سحب ٢٥ ألف طن من المخزونات، والباقي صدر من الصين وكوبا والاتحاد السوفيتي السابق. وقد كان ذلك تحولا غريبا وفجائيا في أسواق النيكل، فخلال السنوات الأولى لعقد الثمانينات كان إنتاج النيكل يزيد على الطلب عليه مما أدى إلى تذبذب سعره حول ٢ دولار في الرطل ونتج عنه خروج بعض المنتجين من السوق وضغط مصروفات وتكلفة الإنتاج لدى المنتجين الآخرين للتغلب على انخفاض السعر. وبالرغم من هذا فقد تغير الموقف كلية خلال عام ١٩٨٧ حيث ارتفع السعر من حوالي ١,٦ دولارا للرطل في أول العام إلى ٣,٤٧ دولار للرطل في آخر العام وواصل ارتفاعه خلال الربع الأول من عام ١٩٨٨ حتى وصل إلى ١٠ دولار للرطل، وكان هذا حدثا فريدا في أسواق النيكل.

٥- معادن التيتانيوم

تم اكتشاف هذا الفلز عام ١٧٩٠ وتم ادخاله في صناعة الصلب عام ١٩٠٦ ولكن تم فصله لأول مرة عام ١٩١٠، وفي عام ١٩١٨ بدأ استخدام

أكسيده فى صناعة البويات، وبعد التوصل إلى إمكانية إنتاجه على المستوى الصناعي فى عام ١٩٤٨، ظهرت أهميته فى صناعة الطائرات الأسرع من الصوت، ولعل ذلك من أهم استخداماته الحالية.

ويحتل التيتانيوم المركز الثانى والعشرين فى الجدول الدورى للعناصر وهو أخف الفلزات الحديدية حيث يبلغ وزنه النوعى ٤,٥١، وهو العنصر التاسع من ناحية الشيوع فى القشرة الأرضية حيث يبغ متوسط تركيزه فيها حوالى ٠,٤٪، وهو يوجد بنسب محسوسة فى جميع أنواع الصخور تقريبا وفى التربة، ولذلك غالبا ما تذكر نسبة أكسيد التيتانيوم فى تحاليل العناصر الرئيسية للصخور.

ويدخل التيتانيوم كعنصر هام فى عدد كبير جدا من المعادن المكونة للصخور بنسب متفاوتة، ووجوده فى هذه المعادن يضفى عليها بعض الصفات البصرية الواضحة جدا والتى يمكن التعرف عليها مجهريا بسهولة، وأهمها اللون. ويوجد للتيتانيوم عدد من المعادن الخاصة به أو التى يشترك فيها مع فلزات أخرى كعنصر رئيسى، وأهمها:

١- الروتيل rutile TiO_2: ويوجد كمعدن إضافى فى معظم الصخور بنسب ضئيلة، ويتبلور فى فصيلة الرباعى وأكثر أشكاله البلورية شيوعا هو منشور رباعى طويل ذو نهايتين هرميتين وكثيرا مايكون إبريا وأحيانا كتليا، ولونه الشائع هو الأحمر القاتم، ولصلابته الشديدة (٦ تقريبا) فإن بعض نوعياته النقية تعتبر حجرا كريما. ويعتبر الروتيل أهم المعادن الركازية للتيتانيوم من ناحية إمكانية الحصول عليه بالرغم من أنه ليس أكثر معادن التيتانيوم شيوعا، ومن ناحية احتوائه على التيتانيوم، وإمكانية استخلاصه منه.

٢- الأناتيز anatase TiO_2: وهو صورة أخرى لأكسيد التيتانيوم، ويتبلور في فصيلة المعيني القائم وأكثر أشكاله البلورية شيوعا المنشور المفلطح أو النضدي، وهو معدن نادر.

٣- البروكيت brookite TiO_2: وهو صورة ثالثة لأكسيد التيتانيوم ويتبلور في فصيلة ثلاثي الميل، وهو معدن نادر. وتعتبر الصور الثلاثة لثاني أكسيد التيتانيوم من الأمثلة الواضحة لظاهرة التعدد الشكلي في المعادن والتي تبين أهمية الترتيب الذري للمعدن في تحديد خصائصه بغض النظر عن التركيب الكيميائي.

٤- الإلمنيت ilmenite $(FeO.TiO_2)$ $FeTiO_3$: وهو أكثر معادن التيتانيوم الركازية شيوعا، وهو أيضا أحد المعادن الإضافية المعتمة الشائعة جدا opaque accessory minerals في الصخور النارية والمتحولة، ويحتوى على ٣١,٦٪ تيتانيوم و ٣٦,٨ حديد و ٣١,٦ أكسجين، ويتبلور في فصيلة الثلاثي وبلوراته نضدية سميكة، ولونه أسود حديدي و له بريق فلزي ومغناطيسية ضعيفة تزداد بالتسخين. وقد يتأثر الإلمنيت بعوامل التجوية الكيميائية فتزداد فيه نسبة التيتانيوم بدرجات متفاوتة قد تصل إلى ٥٥٪، وهذا التغير يزيد من جودته كمصدر للتيتانيوم.

٤- التيتانيت أو السفين titanite or sphene $CaTiSiO_5$: وهوأيضا من المعادن الإضافية الشائعة جدا في الصخور النارية والمتحولة ويتبلور في فصيلة أحادي الميل ويتميز بشكله الوتدي ولونه الرمادي أو البني وبريقه الماسي.

٥- البيروفيسكيت perovskite $CaTiO_3$: وهو من المعادن الإضافية النادرة في الصخور النارية القلوية وبعض الصخور المتحولة، وهو والسفين لا يعتبران من المعادن الركازية للإلمنيت ولكن أهميتهما تنبع من احتوائهما

علـى نسـب متباينـة مـن العنـاصر الأرضيـــة النــادرة، ويمكــن اســتخدامهما لاستخلاص هذه العناصر.

ركازات التيتانيوم:

هناك نوعان لركـازات التيتـانيوم وهـى الركـازات الأوليـة فـى الصخـور النارية وركازات الرمال السوداء.

١- الركازات الأولية: وتوجد على هيئة عروق وكتل وعدسات فى الصخـور الناريـة المافيـة مثـل الجـابرو أو الصخـور الفلسية مثـل الأنورثوزيـت، ومـن أمثلتها ركازات منطقة كويبك فى كندا وجبال الأديروندداك فى ولاية نيويـورك بأمريكا، كما توجد أيضا هذه الركـازات علـى هيئـة طبـاقـات ناريـة مصـاحبـة لطباقات الأنورثوزيت فى المجمعـات الناريـة المافيـة العظمـى مثـل البوشـفيلد فى جنوب أفريقيا. وحيث أن الإلمنيت فى هذه الرواسب لا يزيد محتـواه مـن أكسيد التيتـانيوم عـن ٥٣٪، فـإن نـاتج تعديـن هـذه الركـازات عـادة لا يزيـد محتواه من أكسيد التيتانيوم عن ٣٥٪، ولذلك فإنها تحتاج إلى معالجات معقدة إلى حد ما تشمل صهره فى أفران خاصة لرفع نسبة أكسيد التيتانيوم إلـى مـا فوق ٦٥٪ وفصل الشوائب على هيئة خبث حديدى. وهناك معالجات كيميائية أخرى تؤدى إلى التخلص من كل الشوائب تقريبـا وتنتـج مـا يسـمى الروتيـل الصناعى الذى يحتوى على ٩٩٪ أو أكثر أكسـيد تيتـانيوم، ولكنهـا معالجـات صعبة ومكلفة.

٢- الرمــال السـوداء: ومنهـا يمكـن الحصـول علـى الإلمنيـت والروتيـل بمواصفات جيدة وبتكلفة قليلة، وسيجىء ذكر الرمـال السوداء بـالتفصيل فـى الفصل الثالث عشر.

وقد بلغ الإنتاج العالمي للروتيل ٤٧٠ ألف طن في عام ١٩٨٧ باستثناء الاتحاد السوفييتي. أما الإلمنيت فقد بلغ إنتاجه العالمي في نفس العام باستثناء الاتحاد السوفييتي ٣٫٠٦ مليون طن.

استخدامات التيتانيوم:

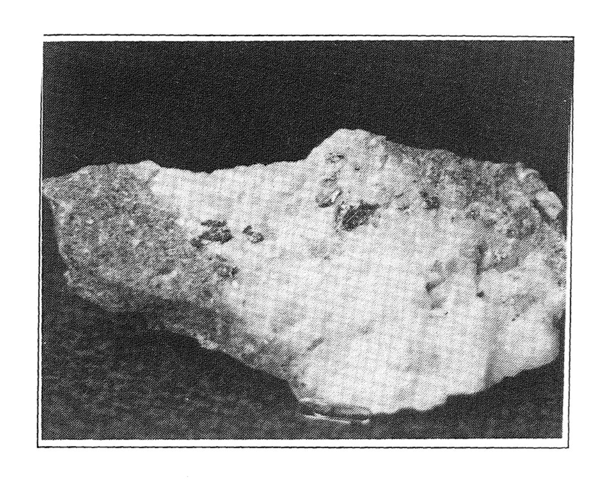
هناك اتجاهان رئيسيان لاستخدامات التيتانيوم، الأول هو استخدامه في صورة أكسيد التيتانيوم النقي والثاني هو استخدام الفلز نفسه في السبائك الخفيفة ذات الشدة العالية. فقد وجد أن أكسيد التيتانوم لونه أبيض ناصع وله قدرة فائقة على التغطية أو حجب ما ورائه، ولذلك فهو يفضل كثيراً عن أكسيد الزنك والرصاص كمادة قاعدية في صناعة البويات والدهانات لقدرته المتفوقة على التغطية ولرخصه ولعدم سميته مثل أكاسيد الرصاص والزنك، ولذلك فإن صناعة البويات تستهلك حاليا حوالي ٩٠٪ من إنتاج التيتانيوم العالمي. يأتي بعد ذلك استخدام التيتانيوم في السبائك الحديدية التي تستخدم في صناعة الطائرات النفاثة ومراكب الفضاء وكل ما يستلزم الخفة والشدة، فكثافة التيتانيوم القليلة ودرجة انصهاره العالية (١٦٧٠ درجة مئوية) تؤهله لهذه الوظيفة. ويتزايد استخدامه حاليا في صناعة السيارات لتخفيف الوزن وتوفير الوقود. ويجد الروتيل الخام حاليا طلبا متزايدا لاستخدامه في صناعة أسياخ اللحام الكهربائي، حيث أن تغليف هذه الأسياخ بالروتيل يضمن تثبيت الشرارة الكهربائية ويضمن ترسيب السبيكة اللاحمة بشكل متجانس في أماكن اللحام. وهناك بعض الاستخدامات الأخرى لمركبات التيتانيوم في صناعة الورق والأصباغ والبلاستيك وبعض الصناعات الحربية.

٦- معادن الموليبدينوم

عرف هذا الفلز لأول مرة فى السويد فى عام ١٧٨٢ عندما أمكن فصله من معدنه الرئيسى والوحيد تقريبا وهو الموليبدينيت، وقد كان فى الماضى يظن أن هذا المعدن هو أحد صور الرصاص، وقد اكتسب الفلز اسمه من هذا الاعتقاد. ولم تظهر أهمية الموليبدينوم إلا خلال الحرب العالمية الأولى عندما تعذر على أمريكا الحصول على التنجستن المطلوب لإنتاج الصلب المستخدم فى المعدات الحربية مثل المدرعات والمدافع، ووجد أن الموليبدينوم ممكن أن يحل محل التنجستن فى هذا الغرض، وهكذا تمت تنمية رواسب الموليبدينوم فى كليماكس Climax بكلورادو، والتى لازالت تعتبر أكبر رواسب الموليبدينوم فى العالم.

ويحتل الوليبدينوم المركز الثانى والأربعين فى الجدول الدورى للعناصر، ويتراوح تركيزه فى صخور القشرة الأرضية بين ٠,٢٪ و ٥ جزء فى المليون بمتوسط حوالى ١,٣ جزء فى المليون، وتبلغ درجة انصهاره ٢٦٢٠ درجة مئوية، وتعتبر درجة غالية جدا بين الفلزات.

ويوجد الموليبدينوم فى عدد كبير من المعادن على صورة احلالات لفلزات أخرى، ولكن لا يوجد له إلا معدن ركازى واحد هو الموليبدينيت MoS_2 molybdenite (شكل ٥-٣)، وهو المصدر الرئيسى له ويحتوى على حوالى ٦٠٪ منه. ويتبلور الموليبدينيت فى فصيلة السداسى



شكل ٥-٤: خام الموليبدينيت فى منطقة جبل قطار بالصحراء الشرقية المصرية.

وله انفصام قاعدى تام مثل الميكا، ولونه رصاصى ذو بريق فلزى ومخدشه رمادى مخضر، وأهم ما يميزه صلادته المنخفضة جدا (١ على مقياس موز مثل الجرافيت والتلك) لذلك فإن ملمسه صابونى ويترك أثرا على الأصابع وعلى الورق، ويمكن تشكيله باليد بسهولة. ولا يتأكسد الموليبدينيت بسهولة

فى الظروف السطحية العادية، ولكن عند تأكسده يتحول إلى معدن أكسيدى ذو لون أصفر كنارى يسمى موليبديت molybdite، أو إلى خليط غير متبلور من أكاسيد مائية لها نفس اللون.

استخدامات الموليبدينوم:

يستخدم حوالى ٨٠٪ من إنتاج الموليبدينوم العالمى فى صناعة الصلب بمواصفات خاصة، فهو يضفى على الصلب صلادة كبيرة وقوة تحمل شديدة؛ فوزن معين من صلب المليبدينوم فى أى تركيب إنشائى يتحمل أضعاف ما يتحمله نفس الوزن من الصلب العادى، كما أنه يتحمل درجات الحرارة العالية دون تغير مواصفاته، ولذلك يستخدم فى المعدات الحربية ووسائل النقل الثقيل، كما يدخل فى صناعة كثير من أجزاء محركات السيارات والديزل ومحركات السفن، وكذلك فى بعض الصناعات الإلكترونية والكهربية. ويستخدم الموليبدنيت النقى فى الشحومات التى تتحمل درجات الحرارة العالية جدا حيث أنها لا تفقده قدرته ومواصفاته التشحيمية. كذلك تستخدم مركبات الموليبدينوم فى الأصباغ وفى تقطير البترول.

ركازات الموليبدينيت:

ترتبط الغالبية العظمى من رواسب الموليبدينيت بالصخور الجرانيتية فى سلاسل جبال الطى، وأكثرها (حوالى ٩٠٪) تقع فى أحزمة الكورديريلا فى الأمريكتين من ألاسكا شمالا إلى شيلى جنوبا، وأكبر ثلاثة رواسب من هذا النوع تقع فى كولورادو ونيومكسيكو بأمريكا، ومنها أكبر منجم للموليبدينوم وهو منجم كليماكس فى كولوررادو، كما توجد العديد من ركازات النحاس فى نفس الحزام الجبلى فى الأمريكتين، ويستخرج منها الموليبدينوم كناتج ثانوى مع النحاس. وقد بلغ إنتاج الموليبدينوم العالمى حوالى ١٦٦ مليون رطل

موزعة على أمريكا ٧٣، كندا ٢٧، شيلي ٣٩، والباقي من دول أخرى. وقد بلغ سعر رطل الموليبدينوم ٢,٨٩ دولار في ديسمبر ١٩٨٧، ووصل إلى ٣,٧٥ دولار في نهاية الربع الأول من ١٩٨٨.

٧- الفاناديوم

يحتل الفاناديوم المركز الثالث والعشرين في الجدول الدوري للعناصر، ويتراوح تركيزه في معظم صخور القشرة الأرضية بين ٢٠ و ٥٠٠ جزء في المليون بمتوسط حوالي ٩٠ جزء في المليون. وكان أول اكتشاف للفاناديوم في ١٨٠١ ثم أعيد اكتشافه في ١٨٣٠ حيث عرف من وقتها باسمه الحالي، وقد استخدمت أملاحه منذ ذلك الوقت في عمل الأحبار وعمل الأصباغ لتلوين الزجاج. ولكن أهميته في سبائك الصلب لم تظهر إلا في ١٩٠٥ عندا بدأت صناعة السيارات في إدخاله في سبائكها الحديدية، والتي أصبحت الآن أهم استخداماته على الإطلاق.

استخدامات الفاناديوم:

يستخدم ما يزيد عن ٩٠٪ من إنتاج الفاناديوم العالمي في السبائك، فهو يكسب الصلب قدرة فائقة على مقاومة الانثناء والشد، ولذلك يستخدم في صنع أجزاء عديدة من السيارات والطائرات، كما يعتبر أساسيا في خطوط الأنابيب، وأوعية الضغط والكباري والإنشاءات الفلزية وتتراوح نسبة الفاناديوم في هذه السبائك بين ٠,٥٪ إلى ٤٪. أما سبائك التيتانيوم فإن وجود الفاناديوم فيها يكسبها قوة تحمل في درجات الحرارة المرتفعة ولذلك تفضل في صناعة الطائرات، كذلك يستخدم الفاناديوم كعامل مساعد في إنتاج حامض الكبريتيك وفي صناعة الكاوتشوك. وهناك استخدامات حديثة

للفاناديوم فى المفاعلات المولدة السريعة fast breede reactors حيث أنه .
أقل تأثرا بالنيوترونات من الفلزات الأخرى، كذلك هناك اهتمام مستقبلى
بالفاناديوم فى المفاعلات الإندماجية fusion reactors.

مصادر الفاناديوم:

بالرغم من أن الفاناديوم أكثر شيوعا من فلزات أخرى كثيرة، إلا أنه
ليس له معادن مستقلة مثلها، فهو يوجد دائما بمصاحبة فلزات أخرى. وأهم
المعادن التى تحتوى على الفاناديوم بنسب كبيرة هى:

١- الكارنوتيت carnotite $K_2O.2U_2O_3.V_2O_5.3H_2O$: وهو فى
الواقع معدنا ركازيا لليورانيوم أساسا، ويتبلور فى فصيلة المعينى القائم
ويتميز باللون الأصفر الفاقع أو الأصفر المخضر ونادرا ما يوجد على هيئة
بلورات متكاملة، ولكن غالبا ما يوجد على هيئة كتل حبيبية.

٢- الفاناديت vanadinite $Pb_5Cl(VO_4)_3$: ويحتوى على ١٩,٤٪ .
خامس أكسيد الفاناديوم، ويتميز بثقله النوعى العالى (حوالى ٧) وبلونه
الأحمر الياقوتى، أو الأحمر البرتقالى أو البنى أو الأصفر، ويتبلور فى
فصيلة السداسى.

٣- الروسكوليت roscoelite $(K_2(Mg,Fe)(Al,V)_4Si_{12}O_{32}.H_2O$.

ويأتى أغلب إنتاج الفاناديوم العالمى كناتج ثانوى لفلزات أخرى،
وخاصة اليورانيوم، أو من مواد أخرى، كذلك لا تلعب معادن الفاناديوم أى
دور رئيسى فى إنتاجه حيث أنه غالبا ما يوجد فى صور أخرى ليست على
هيئة معادن. فمن ركازات اليورانيوم يوجد الفاناديوم فى الكارنوتيت، وتعطى
رواسب اليورانيوم فى هضبة الكلورادو والرواسب المشابهة لها جزءا كبيرا
من إنتاج الفاناديوم. أما المصادر الأخرى التى تنتج الفاناديوم فمنها ركازات

الحديد والتيتانيوم فى جنوب أفريقيا وبولندا وبعض رواسب الفوسفات والطفلة فى أمريكا، كذلك يمكن استخلاص كميات من الفاناديوم من رماد الفحم الحجرى بعد حرقه ومن مخلفات رمل القار بعد استخلاص المواد البترولية منه. وهناك مصدر آخر للفاناديوم ولكنه لم يستغل بعد؛ فالطفلة الكربونية تحمل الفاناديوم بنسبة قد تصل إلى ١٪ تقريبا، وتوجد هذه الطفلة بكميات كبيرة فى معظم القارات. وقد بلغ الإنتاج العالمى للفاناديوم عام ١٩٨١ كالآتى بالألف طن: جنوب أفريقيا ١٠٩٠٠، أمريكا ٤٨٠٠، فنلندا ٢٤٥٠، استراليا ٥٩٠، دول أخرى ١٠٠٠، المجموع ١٩٤٠٠. وقدر إنتاج الاتحاد السوفييتى والصين فى نفس العام بحوالى ١٠٨٨٠ و ٤٩٩٠ على التوالى. وقد بلغ متوسط سعر الرطل من خامس أكسيد الفاناديوم فى عام ١٩٨٢ حوالى ٣,٥ دولار.

٨- معادن التنجستن

اكتشف التنجستن عام ١٧٨١ واكتسب اسمه من عبارة سويدية تعنى الحجر الثقيل التى كانت تطلق على المعدن الذى استخلص منه الفلز tung sten. ويحتل التنجستن المركز الرابع والسبعين فى الجدول الدورى للعناصر، ويبلغ وزنه النوعى ١٩,٣ مثل الذهب تقريبا، ولكن درجة انصهاره تبلغ ٣٤١٠ درجة مئوية وهى أعلى درجة انصهار بين الفلزات. والتنجستن من الفلزات الشحيحة الوجود، حيث يبلغ متوسط تركيزه فى القشرة الأرضية حوالى ٢ جزء فى المليون.

استخدامات التنجستن:

يعتبر التنجستن من الفلزات الحربية فالطلب عليه يتزايد خلال الحروب ويقل فى أوقات السلام، للصفات الخاصة التى يضفيها على سباتكه مع الحديد التى تستخدم فى صناعة المدرعات الحربية ومواسير المدافع بأنواعها ومواسير البنادق وتربينات الغاز ومحركات الصواريخ والمحركات النفاثة، وأيضا فى سنون البلدوزرات وكاسحات الأتربة والجريدرات، وقد يصل التنجستن فى هذه المعدات إلى أكثر من ٢٠٪. وكربيد التنجستن له صلادة عالية جدا ويستخدم فى أدوات القطع والحفر والتخريم وخاصة التى تعمل فى درجات حرارة عالية أو فى مواد ذات صلادة كبيرة، وهو الفلز الوحيد الذى يمكن استخدامه فى لمبات الإضاءة الكهربائية لدرجة انصهاره العالية وقابليته للسحب بسهولة، فيمكن عمل سلك يكفى ١٠ مليون لمبة كهربائية من طن واحد من التنجستن، كذلك تصنع نقاط التوصيل الكهربى المعرضة للتآكل السريع من الفلز بمفرده أو فى سبيكة مع النحاس والفضة لزيادة قابلية التوصيل الكهربى. وهناك سبيكة تسمى ستيلليت stillite تتكون من التنجستن والكوبالت والكروم تستخدم فى طلاء الفلزات لحمايتها من التآكل. كما تستخدم بعض مركبات التنجستن فى صناعة الأصباغ والأحبار والمينا.

معادن التنجستن:

يوجد للتنجستن معدنان ركازيان هما:

١- الوفراميت wolframite $(Fe,Mn)WO_4$: ويحتوى على حوالى ٧٦٪ أكسيد التنجستن (WO_3)، ويتبلور فى فصيلة أحادى الميل وبلوراته نضدية الشكل. ويتميز بوزنه النوعى العالى.

٢- الشيليت scheelite $CaWO_4$: ويحتوى على ٨٠,٦٪ أكسيد التنجستن، ويتبلور فى فصيلة الرباعى.

ركازات التنجستن:

ترتبط كل ركازات التنجستن بالصخور الجرانيتية حيث توجد علـى هيئـة عروق مع معادن أخرى أو على هيئة حبيبات منبثة فى الجرانيت نفسه أو فى عروق وكتل البجماتيت والكوارتز المصاحبة للجرانيت أو فى نطاقات التماس التى تحيط بـالجرانيت، وغالبـا مـا تتصـاحب ركـازات التنجستن والقصديـر وأحيانا أيضا الموليبدينوم. وتجرى على خامات التنجستن بعض المعالجـات لرفـع نسبة أكسيد التنجستن بـه إلى ٦٠-٧٥٪، ويقـدر الإنتـاج بمحتـوى المركزات من الأكسيد. وقد بلغ إنتاج الدول الغربية مـن مركـزات التنجستن ما يحتوى على ١٩٦٠٠ طن فى عام ١٩٨٥، و١٥٠٠٠ طن فى ١٩٨٦، و ٩٩٠٠ طن فى ١٩٨٧. أما دول شرق أوربـا فكـان إنتاجهـا حوالـى ٩٠٠٠ طن والصين ١٨٠٠٠ طن، ولم تعلن بيانات الاتحاد السوفييتى السابق. وفـى النصف الأول من عام ١٩٨٧ تراوحت أسعار طـن التنجستن فـى مركـزات الولفراميت من ٣٢ إلى ٥٥ دولارا، وفى الشيليت من ٤٦ إلى ٦١ دولارا.

الفصل الســــادس

الألومنيوم

الألومنيوم هو أكثر الفلزات وثالث العناصر شيوعا في القشرة الأرضية بعد الأكسجين والسيليكون، ومع ذلك لم يتمكن الإنسان من استخلاصه من مواد الأرض إلا في عام ١٨٤٥، ولم يبدأ استخدامه على نطاق واسع إلا بعد مطلع القرن العشرين بعدما تبين أن سبائك الألومنيوم مع فلزات أخرى لها نفس قوة الصلب بثلث الوزن تقريبا، وأصبح الألومنيوم يحتل المركز الثاني في الاستخدامات بين الفلزات بعد الحديد. وأهم الخصائص التي أوصلته إلى هذا المركز هي خفة وزنه؛ فوزنه النوعي هو ٢,٧ (الوزن النوعي للحديد يتراوح من ٧,٣ إلى ٧,٩ وللنحاس ٨,٩٥). وصعوبة استخلاص الألومنيوم نابعة من وجوده دائما متحدا مع الأكسجين والسيليكون على هيئة معادن في الصخور السليكاتية، خاصة معادن الفلسبار، أو متحدا مع الأكسجين على هيئة أكاسيد في صور متعددة من المعادن وأشباه المعادن وأهمها البوكسيت، وفي هذه الصور من الاتحاد الكيميائي، يرتبط الألومنيوم بالأكسجين والسيليكون بروابط كيميائية قوية جدا يصعب كسرها بالطرق الكيميائية البسيطة وتحتاج إلى معالجات شديدة، وهذا هو السبب في تأخر التكنولوجيا في التوصل إلى طريقة اقتصادية لاستخلاص الألومنيوم. كذلك يتميز الألومنيوم بعدم تأثره بسهولة بعوامل التجوية وبعدم تحوله إلى مركبات ذائبة عند تعرض الصخور السليكاتية لعوامل التعرية.

معادن الألومنيوم وركازاته:

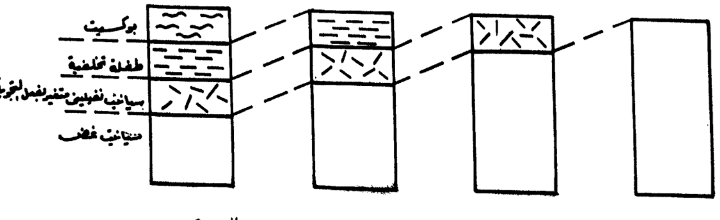
يوجد الألومنيوم في عدد كبير جدا من المعادن السليكاتية المكونة للصخور مثل الفلسبارات التي تكون الجزء الأكبر من الصخور النارية والمتحولة، وفي معادن الطفلة الشائعة في الصخور الرسوبية بالإضافة إلى معادن أخرى كثيرة تتواجد في ظروف متعددة في القشرة الأرضية، وتتراوح

نسبة أكسيد الألومنيوم (ويسمى الألومينا alumina Al_2O_3) فى هذه المعادن ما بين حدود واسعة جدا غالبا من حوالى ١٠٪ إلى ما يقرب من ١٠٠٪ تقريبا فى معادنه الأكسيدية مثل الكورندم، ولكثير من معادن الألومنيوم استخدامات صناعية متعددة غير استخلاص الفلز، فالياقوت مثلا هو أحد صور الكورندم، والشبة alum والأليونيت alunite هما أيضا من معادن الألومنيوم. أما ركازات الألومنيوم التى يستخرج منها هذا الفلز فى الوقت الحالى فهى البوكسيت baeauxite فى المقام الأول، بالرغم من أن هناك محاولات لاستخلاص الفلز من بعض الصخور السليكاتية التى تحتوى على نسبة عالية من الألومنيوم مثل الكاولين والسيانيت النفيلينى والأنورثوزيت

١ - البوكسيت bauxite:

البوكسيت هو خليط من أكاسيد وهيدروكسيدات الألومنيوم المائية وبعض معادن الألومنيوم الأكسيدية، بالإضافة إلى مواد أخرى تعتبر شوائب مثل أكاسيد الحديد والتيتانيوم ومعادن الطفلة والكوارتز، ولذلك فهو ليس صخرا بالمعنى الجيولوجى الدقيق. ويتميز البوكسيت بنسيج بيزوليتى pisolitic وهو عبارة عن تجمع لحبيبات مستدير الشكل لا يزيد قطرها عن بضعة مليمترات مثل بطارخ السمك، وتلتحم الحبيبات مع بعضها بمواد ترابية من أكاسيد الألومنيوم أو الحديد، وتتكون الحبيبات نفسها من رقائق كروية الشكل مترسبة فوق بعضها. وعندما يكون البوكسيت نقيا فإن لونه يميل إلى البياض ولكن غالبا ما يتراوح لونه من الأصفر إلى البنى الفاتح أو الأحمر الفاتح نتيجة لوجود أكاسيد الحديد والشوائب الأخرى مختلطة به بنسب متفاوتة، وقد تزيد نسبة هذه الشوائب إلى الحد الذى تجعله غير صالح للاستغلال. ويتكون البوكسيت نتيجة لتأثير عوامل التعرية على الصخور الحاملة للألومنيوم فى مناخ استوائى أو مدارى حيث تسود الأمطار مع ارتفاع درجة الحرارة، وتعمل هذه الظروف على أكسدة معظم مكونات الصخور

وتحويلها إلى مواد ذائبة فيما عدا الألومنيوم وكذلك الحديد حيث أنهما يتحولان إلى أكاسيد غير قابلة للذوبان فى مياه الأمطار، وأيضا الكوارتز لأنه يقاوم أى تحلل كيميائى، وتسمى هذه العملية بعملية التركيز التخلفى residual concentration (شكل ٦-١) وفيها يتم تركيز الألومنيوم وتكوين البوكسيت، ليس بإضافة الألومنيوم من مصدر خارجى، ولكن بإذابة المكونات الأخرى الموجودة مع الألومنيوم مثل الكالسيوم والصوديوم والمغنيسيوم والسيليكا وإزالتها مع مياه الأمطار وترك الألومنيوم "متخلفا" مع باقى المواد غير القابلة للذوبان. ولذلك يوجد البوكسيت الجيد على هيئة أغطية فوق الصخور المناسبة التى تحتوى فى الأصل على نسبة عالية من الألومنيوم ونسبة منخفضة من الشوائب الأخرى وأهمها الكوارتز. وأفضل الصخور التى يتكون منها البوكسيت بطريقة التركيز التخلفى هى السيانيت النفلينى nepheline syenite لأنه يتكون أساسا من الفلسبارات وأشباهها وهى معادن ألومينية قابلة للتحلل الكيميائى، وفى نفس الوقت لا يحتوى على الكوارتز. ويلى السيانيت النفلينى فى أهمية تكوين البوكسيت صخور الطفلة البيضاء التى تسمى كاولين والتى يصنع منها الخزف الجيد. وتوجد أغطية البوكسيت التى تكونت فى الأزمنة الجيولوجية الحديثة فى مساحات شاسعة فى الدول ذات المناخ الاستوائى أو المدارى مثل شمال استراليا والهند وجامايكا وقد يصل سمكها إلى ٣٠ مترا، وهى سهلة التعدين لأنها مكشوفة على السطح مباشرة. وقد يوجد البوكسيت فى أماكن أخرى بعيدة عن المناخ الحالى المناسب، حيث تَكَوّن فيها فى الأزمنة الجيولوجية السابقة عندما كان مناخ تلك المناطق مناسبا لتكوينه، مثل رواسب البوكسيت المكتشفة حديثا فى المملكة العربية السعودية ضمن صخور الحقب الأوسط عندما كان مناخ الجزيرة العربية مناخا مداريا.



مراحل تكوين طبقة من البوكسيت فوق سيانيت نفيليني معرض للتجوية.

٢- الألونيت alunite:

يتكون الألونيت من كبريتات الألومنيوم والبوتاسيوم المائية ويشبه الكاولينيت (الطفلة البيضاء) إلى حد كبير جدا مما يصعب التعرف عليه. وقد اتجهت بعض الدول حديثا إلى التفكير فى استخدام الألونيت كبديل للبوكسيت لاستخلاص الألومنيوم وفى نفس الوقت لإنتاج كبريتات البوتاسيوم وحامض الكبريتيك كنواتج ثانوية فى نفس العملية. ويوجد الألونيت فى عدة مواقع فى سيناء وفى الصحراء الشرقية المصرية، كما تم اكتشاف رواسب جديدة منه فى مناجم الحديد فى الواحات البحرية المصرية أيضا. ولقد حان الوقت الآن لتكتل عربى للبحث عن رواسب هذا المعدن فى كل الوطن العربى لتأمين مصادر الألومنيوم الأولية للمصاهر العربية، ويا حبذا لو كان هذا التكتل شاملا لكل ما يتعلق بصناعة الألومنيوم ويكون بداية لخلق تكنولوجيا عربية خالصة لهذه الصناعة تنبع من ظروفنا وتلبى احتياجاتنا وتعتمد على عقولنا وسواعدنا، خاصة وأن القاعدة الأساسية لهذه التكنولوجيا موجودة بالفعل.

٣- الكاولين:

وهو صخر يتكون فى غالبيته من أحد من معادن الطفلة يسمى كاولينيت وتركيبه سليكات الألومنيوم المائية النقية، ولذلك يصلح مصدرا جيدا للألومنيوم، وتجرى عليه الدراسات الحالية لهذا الغرض. ويتكون هذا الصخر بالطرق الرسوبية كصخر رسوبى أو بالطريقة التخلفية مثل البوكسيت تماما ولكن فى المناخات المعتدلة حيث لا يكون التحلل الكيميائى للصخور السليكاتية بالشدة التى تؤدى إلى إذابة السليكا فتتخلف مع الألومنيوم مكونة سليكات الألومنيوم المائية بدلا من الأكاسيد والهيدروكسيدات المائية، أما فى المناطق الإستوائية والمدارية فإن التحلل الكيميائى يكون أشد فاعلية فيؤدى إلى إذابة السليكا ولا يبقى إلا الألومنيوم على هيئة أكاسيد مائية. وهنا

يجب التفريق بين السليكا المرتبطة فى المعادن السليكاتية مثل الفلسبارات (سليكات البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم) والسليكا الحرة التى توجد على هيئة كوارتز وهو من أكثر المعادن شيوعا فى القشرة الأرضية بعد الفلسبارات، فالأولى يمكن لعوامل التجوية الشديدة فى المناطق المدارية والاستوائية إذابتها من المعادن، أما الكوارتز فهو من أشد المعادن ثباتا ومقاومة لعوامل التجوية، ولذلك فإن الكاولين أو البوكسيت الذى يتكون من الصخور السليكاتية التى تحوى على نسبة من الكوارتز يظل فيها هذا الكوارتز فى النهاية ويعتبر من الشوائب الضارة فى كلتا الحالتين، مثل كاولين وادى كلابشة فى مصر الذى يجب تخليصه من الكوارتز قبل إدخاله فى صناعة الخزف. وعلى هذا فإن تعرض الصخور السليكاتية للتجوية فى المناطق ذات المناخات المعتدلة ينتج عنها تكوين الكاولين أو نوعيات أخرى من الطفلة لعدم إذابة السليكا، أما فى المناطق الاستوائية والمدارية حيث يكون التحلل الكيميائى شديدا فتتم إذابة السليكا من المعادن السليكاتية ويتبقى البوكسيت.

٤- صخور سليكاتية أخرى:

هناك نوعين من الصخور النارية التى تحتوى على الألومنيوم بنسبة عالية قد تصل إلى ٢٩٪ وفى نفس الوقت لا تحتوى على الكوارتز، ولذلك تصلح لأن تكون مصدرا للألومنيوم، ولكن لا تزال تواجهها الصعوبات التكنولوجية لاستخلاص الألومنيوم بطريقة اقتصادية منافسة للبوكسيت، ولازالت الأبحاث جارية فى هذا المجال، وهذان الصخران هما السيانيت النفيلينى والأنورثوزيت. ويتكون الأول أساسا من الفلسبارات القلوية (سليكات الألومنيوم والبوتاسيوم والصوديوم) وأشباه الفلسبارات (مثل النيفيلين) أما الأنورثوزيت فيتكون من الفلسبارات الكلسية (سليكات الألومنيوم والكالسيوم

والصوديوم). ويوجد هذان الصخران ضمن مجموعات الصخور النارية في الدرع العربي النوبي في كل من مصر والسودان والسعودية، ومن المحتمل أن يكونا من المصادر المهمة للألومنيوم في المستقبل بعد التوصل إلى طريقة اقتصادية لاستخلاصه منهما.

استخلاص الألومنيوم من البوكسيت:

البوكسيت هو المصدر الوحيد للألومنيوم حاليا حيث أنه متوفر وسعره مناسب. وتتم معالجة البوكسيت بعد تعدينه على مرحلتين، تتم في المرحلة الأولى معالجة البوكسيت بواسطة الصودا الكاوية في درجة حرارة ٤٠٠ مئوية تقريبا لتخليصه من الشوائب حيث يذوب أكسيد الألومنيوم ويعاد ترسيبه في صورة نقية (٩٩٪ على الأقل)، وبعدها يدخل في المرحلة الثانية وهي مرحلة الفصل الكهربي وفيها يخلط أكسيد الألومنيوم بالكرايوليت في أفران كهربائية فينصهر الكرايوليت بسرعة وسهولة ويذيب أكسيد الألومنيوم، ويعمل التيار الكهربائي علي تحلل أكسيد الألومنيوم إلى ألومنيوم فلزى يتجمع حول القطب السالب في قاع الفرن وأكسجين يتصاعد نحو القطب الموجب المصنوع من الكربون في أعلى الفرن ويتفاعل معه مكونا ثاني أكسيد الكربون الذى يهرب إلى الجو، ويستخرج الألومنيوم المنصهر من قاع الفرن، ويتم إحلال الكربون في القطب الموجب دوريا. والكرايوليت هو معدن تركيبه الكيميائي فلوريد الألومنيوم والصوديوم ويستخدم في العملية كخافض لدرجة حرارة الانصهار فقط، وهو معدن نادر ويصعب الحصول عليه ولذلك تستخدم بدلا منه الآن مادة مصنعة لها نفس التركيب الكيميائي. ويحتاج إنتاج كل كيلوجرام من الألومنيوم الفلزى إلى حوالي ١٥ كيلووات ساعة من الطاقة الكهربية، ولذلك فإن اقتصاديات العملية تعتمد إلى حد كبير على توافر الكهرباء الرخيصة حيث أنها تدخل ضمن عناصر الإنتاج، وهي أكثر عنصر

من عناصر الإنتاج تكلفة، لذلك فإن أى زيادة فى سعر الكهرباء لها تأثير كبير ومباشر على صناعة الألومنيوم أكثر من أى فلز آخر.

اقتصاديات البوكسيت:

بلغ تقدير الاحتياطى العالمى من البوكسيت عام ١٩٨٧ حوالى من ٢٢ إلى ٢٩ ألف مليون طن، وفى نفس السنة بلغ الإنتاج العالمى حوالى ٨٧ مليون طن، أما إنتاج الألومنيوم الفلزى فقد بلغ ١٦ مليون طن (كل طن من الألومنيوم الفلزى يحتاج إنتاجه إلى ٥-٦ طن بوكسيت)، ولذلك فإن الاحتياطى الحالى يكفى الاحتياج العالمى فى المستقبل البعيد، ولكن ظروف النقل والعوامل الاقتصادية والسياسية الأخرى قد تكون لها تأثيرات مباشرة على توافر البوكسيت للمصاهر التى تعتمد على استيراده من الخارج مثل المصاهر فى الدول العربية، ومن المتوقع أيضا أن يزيد الطلب العالمى على الألومنيوم بمعدل حوالى ٥٪ سنويا ليصل إلى ٦٠ مليون طن سنويا فى عام ٢٠٠٠. وقد تراوح سعر طن البوكسيت بدون نقل ما بين ١٤ و ٢٧,٥ دولار للطن حسب الدولة المصدرة فى عام ١٩٩٠ ثم توالى انخفاض هذا السعر إلى ١٢-٢٢ دولار للطن فى عام ١٩٩٣، ومن المتوقع أن يستمر الانخفاض حتى منتصف التسعينات، ثم يعود للارتفاع التدريجى حتى يصل إلى ١٤-٢٥ دولار للطن فى عام ٢٠٠٠.

صناعة الألومنيوم فى الوطن العربى:

اهتمت مصر بصناعة الألومنيوم بعد إنشاء السد العالى وتوافر مصدر رخيص للكهرباء، وتم إنشاء المصنع وبدأ انتاجه فى أوائل السبعينات، وفى نفس الوقت لاقت هذه الصناعة الكثير من الاهتمام فى باقى الدول العربية وتم إنشاء مصنعين آخرين أحدهما فى البحرين فى أوائل السبعينات والآخر

فى دبى فى منتصف السبعينات. وفى عام ١٩٩٢ بلغ إنتاج المصانع الثلاثة ٨٣٧ ألف طن (١٨٠ ألف طن من مصر، ٢٤٢ ألف طن من دبى، ٤١٥ ألف طن من البحرين). ومن المستهدف أن يزيد إنتاج هذه المصانع ليبلغ ٩٤٤ ألف طن فى عام ٢٠٠٠ (٢٤٠ ألف طن فى مصر، ٢٤٢ ألف طن فى دبى، ٤٦٢ ألف طن فى البحرين). وقد شجع نجاح هذه المصانع الثلاثة باقى الدول العربية على المضى نحو إنشاء مصانع أخرى للألومنيوم فى كل من السعودية والجزائر وقطر وليبيا والعراق، ومن المتوقع أن يصل إنتاج الألومنيوم فى الوطن العربى إلى ما يقرب من ٢ مليون طن سنويا أو يزيد حتى عام ٢٠٠٠. وقد نشأ هذا الاهتمام كرد فعل طبيعى تجاه صناعة تعتمد أساسا على الطاقة المتوفرة فى الدول البترولية، خاصة بعد الانحسار فى الطلب العالمى على البترول وتراجعه كثيرا كمصدر للدخل القومى مما يجعل استغلاله فى صناعات أخرى أفضل كثيرا من مجرد حرقه.

وطالما بدأت الدول العربية فى هذه الصناعة الحديثة وخطت فيها خطوات ناجحة حتى الآن فلا بد من التخطيط المستقبلى البعيد الأمد لاستمرارية نجاح هذه الصناعة وتطورها باستمرار، ومن أهم ما يؤخذ فى الاعتبار فى هذا التخطيط المستقبلى ما يأتى:

١- أول ما يجب تأمينه لهذه الصناعة هى المواد الأولية، وخصوصا خامة الألومنيوم نفسها التى يتم استيرادها بالكامل الآن وهى البوكسيت، وهذا بالطبع وضع غير مريح لصناعة الألومنيوم العربية.

٢- بالرغم من أن أجواء الوطن العربى لا تسمح بتكون البوكسيت حاليا أو فى العصور الجيولوجية القريبة جدا إلا فى مناطق محدودة جدا، إلا أن الوطن العربى قد مر خلال التاريخ الجيولوجى الطويل بظروف مناخية تسمح بتكوين البوكسيت، وقد تم اكتشافه فعلا بمنطقة الزبيرة فى المملكة العربية السعودية، وهو كشف هام جدا يبين إمكانية تواجد البوكسيت فى دول

عربية أخرى مثل السودان ومصر فى العصور الجيولوجية السابقة التى من الممكن أن يتكرر فيها الوضع الجيولوجى للبوكسيت السعودى. إذن لا يجب أن نقرر ببساطة خلو الوطن العربى من البوكسيت من الناحية النظرية، ولكن يجب تكثيف البحث والدراسة فى هذا المجال، وياحبذا لو كان من خلال تعاون عربى شامل تدفعه وتدعمه صناعة الألومنيوم العربية لمحاولة تأمين مصادر المواد الأولية لها، أو تطوير التكنولوجيا فى هذه الصناعة لاستخدام ما هو متوفر محليا من هذه المواد، وهذه نواة جيدة لإقامة تكتلات تكنولوجية عربية على أساس المصالح الاقتصادية المتبادلة، وهى أفضل الأسس للتكتلات الدولية على الإطلاق.

٣- يجب توجيه بعض الاستثمارات العربية فى شركات تعدين البوكسيت فى الدول الصديقة التى تملك احتياطياته مثل كثير من الدول النامية فى أفريقيا وآسيا.

٤- حث الدراسات العلمية نحو إيجاد بدائل للبوكسيت كخامة أولية للألومنيوم مثل الكاولين والسيانيت النفيلينى والأليونيت وأى مادة أولية أخرى تكون متوافرة فى الوطن العربى، وهذه فرصة طيبة لمحاولة خلق تكنولوجيا عربية نابعة من ظروفنا المحلية واحتياجاتنا الفعلية، ويا حبذا لو طبق نفس المفهوم على المجالات الأخرى.

بهذا نستطيع تحقيق هدفا مباشرا وهو تقوية وتطوير صناعة الألومنيوم العربية، وهدفا غير مباشر وهو خلق أسس قوية للتعاون والتضامن العربى، وبلا شك غير المباشر أهم من المباشر فى هذا المقام.

الفصل السابع
معادن النحاس والرصاص والزنك

أولا: النحاس

يعتقد أن النحاس كان أول الفلزات التى عرفها الإنسان واستخدمها فى صنع أدواته، وكان ذلك عنوانا لأحد عصور الحضارة البشرية الأولى وهو عصر البرونز إشارة إلى استخدام الإنسان لهذه السبيكة المكونة أساسا من النحاس مع بعض الفلزات أو العناصر الأخرى، بل إن بعض المؤرخين يسمون الفترة الأولى من عصر البرونز بعصر النحاس إشارة إلى الفترة التى كان الإنسان يستخدم فيها النحاس فقط فى صنع أدواته، ثم تعلم بعد ذلك أن خلط النحاس بالعناصر الأخرى يعطيه سبيكة أشد قوة وصلابة من النحاس نفسه، فانتقلت الحضارة الإنسانية إلى عصر البرونز. وغالبا ما يوجد فى خامات النحاس فلزات وعناصر أخرى مثل الرصاص والزنك والزرنيخ والأنتيمون، ولذلك عندما بدأ الإنسان فى صهر خامات النحاس واستخلاصه لم يكن نحاسا خالصا ولكنه كان على هيئة برونز بنوعياته المختلفة، أما النحاس الخالص الذى استخدمه الإنسان أولا فكان يحصل عليه مباشرة كنحاس حر يوجد فى الطبيعة كأحد المعادن.

وبالرغم من ندرة النحاس فى القشرة الأرضية ، حيث أن متوسط تركيزه هو ٠,٠٠٤٥٪، إلا أن خاماته تتنوع كثيرا وتنتشر انتشارا واسعا فى بيئات جيولوجية متعددة، كما أن بعض معادنه الثانوية تتميز بألوان زرقاء وخضراء زاهية تسترعى الانتباه بسهولة حتى فى وجودها بنسب ضئيلة جدا،

كذلك فإن معادن النحاس الأولية سريعة التأثر بالظروف الجوية حيث تتحول إلى معادن ثانوية أغلبها من ذات الألوان الزاهية فتساعد كثيرا على اكتشافه. وبالرغم من سرعة تأثر النحاس بالأكسدة الجوية إلا أنه يوجد أيضا طليقا على هيئة معدن مثل الذهب والفضة والحديد والبلاتين، ولعل أول استخدام الإنسان للنحاس كان من ذلك الذى يوجد طليقا، ثم بعد ذلك تعلم الإنسان كيفية صهر خاماته واستخلاصه منها. ويعتقد المؤرخون أن ذلك كان عندما أشعل أحد الأفراد نارا وأحاطها ببعض الحجارة كانت من بينها قطعة تحتوى على بعض معادن النحاس الثانوية الزاهية اللون مثل الملاكيت، وعند تعرض هذا المعدن للنار فى وجود الفحم المتخلف من احتراق الخشب تم اختزاله وسال منه القطر على هيئة نقاط نحاسية ذات لون براق استرعى الانتباه، وبعد أن خبت النار تبين أن هذا القطر قد تجمد وأصبح مثل الفلز الذى يستخدم فى صنع أدوات الصيد والقَطْع، فعرف الإنسان أن تسخين الحجارة ذات الألوان الخضراء الزاهية مع فحم الخشب تعطى ذلك الفلز البراق الذى له تقدير خاص من الناحية الجمالية ومن الناحية العملية، فهو يستخدم فى الحلى والزينة لأنه الفلز الوحيد غير الذهب الذى له لون غير الرصاصى (لونه أحمر بمسحة بنية خفيفة)، ويستخدم أيضا فى صنع الأسلحة وأدوات الصيد المختلفة لأنه سهل الطرق والسحب والتشكيل، بل تبين أن الفلز المستخلص بهذه الطريقة يفوق الفلز الذى يتم العثور عليه مباشرة، وكان هذا إيذانا بمعرفة الإنسان بأول سبيكة فى التاريخ وهى البرونز، كما كان إيذانا ببدأ النشاط الإنسانى فى البحث عن خامات النحاس وتطوير وسائل استخدامها واكتشاف المزيد من معادنه. وتدل الآثار وشواهد التاريخ الأخرى على أن المصريين القدماء هم أول من اكتشف النحاس وأول من استخدموه وأول من استغلوا خاماته فى سيناء والصحراء الشرقية،

وتوجد فى هذا المناطق بقايا أفران الصهر على هيئة أكوام من الخبث المتبقى بعد استخلاص الفلز، ومن مصر امتدت هذه المعارف والتكنولوجيات إلى الحضارات الأخرى.

استخدامات النحاس:

النحاس من الفلزات الشائعة جدا فى الاستخدام حيث يحتل المركز الخامس بين الفلزات فى الاستخدام من الناحية الكمية. وهو من أجود الفلزات توصيلا للكهربية؛ فمن ناحية جودة التوصيل بالنسبة لقطر السلك فهو الثانى بعد الفضة، أما من ناحية جودة التوصيل بالنسبة للوزن فهو الثانى بعد الألومنيوم، كما أنه من الفلزات القليلة التى يمكن استخدامها مباشرة بدون سبكها مع فلزات أخرى، ولذلك فإن أكثر استخداماته فى الصناعات الكهربية فى المحولات والموتورات والمفاتيح والوصلات والأسلاك، كذلك يستخدم فى أجهزة الاتصالات. ويكون النحاس الفلز الرئيسى للبرونز والنحاس الأصفر، وهاتان السبيكتان لهما استخدامات متعددة لعمل الألواح والمواسير الفلزية وبعض الأسلاك، أما ظروف المقذوفات النارية مثل طلقات المدافع والبنادق فهى أيضا من أنواع مختلفة من البرونز. ويستخدم النحاس أيضا فى صناعة رادياتيرات السيارات وفى المبادلات الحرارية كما فى أجهزة التكييف والثلاجات والدفايات. كما أن له أهمية كبرى فى الصناعات الحربية، ولذلك فان أسعاره تتأثر كثيرا مابين أزمنة الحرب والسلم، وترتفع أسعاره كثيرا فى أوقات نشاط الصناعات الحربية. كذلك يدخل النحاس بنسب بسيطة فى سبائك الألومنيوم الذى تدخل فى مجال البناء لتحل محل الخشب فى الأبواب والشبابيك. أما أملاح النحاس فتدخل فى مختلف الصناعات الكيميائية فى الأصباغ و الزجاج والدباغة و صناعة المطهرات والمبيدات

الحشرية. ويحتاج النبات إلى النحاس فى التربة لنموه الطبيعى بنسبة حوالى ١٠ جزء فى المليون، ونقص هذه النسبة يعوق نمو النبات، أما زيادتها زيادة ملحوظة فهى سامة وقد تقتل الحياة النباتية والحيوانية أيضا، ولذلك يعتبر النحاس ضمن الفلزات ذات التأثير السام على البيئة إذا زاد عن حد معين. وبالرغم من هذا فهناك أنواع من النباتات تحتاج إلى وجود النحاس بنسبة عالية فى التربة لنموها تصل إلى ٢٠٠٠ جزء فى المليون، وبالطبع لا تتوافر هذه النسبة إلا فى المناطق التى بها صخور تحتوى على نسب أعلى بكثير من المتوسط العام للنحاس، ولذلك يعتبر توزيع مثل هذه النباتات دليلا جيدا فى استكشاف خامات النحاس.

معادن النحاس:

من بين جميع الفلزات، يكون النحاس أكبر عدد من المعادن التى يمكن استخلاصه منها بسهولة، فهناك ما يزيد على ٣٥٠ معدنا تحتوى على النحاس بنسب محسوسة، ولذلك فإن معادن النحاس الركازية أكثر فى عددها وتنوعها من أى فلز آخر، ولذلك أيضا نجد أن ركازات النحاس عادة ما تحتوى على عدد كبير من هذه المعادن الركازية. وأهم تلك المعادن الآتى:

١ - الكبريتيدات:

وهى أيضا عدد كبير من المعادن منها الأولىّ ومنها الثانوى، ومنها ذو التركيب البسيط من النحاس والكبريت فقط ومنها ما يدخل فى تركيبه فلزات وعناصر أخرى، وأهم تلك المعادن الآتى:

• الكالكوبيريت chalcopyrite $CuFeS_2$: ويحتوى على ٣٤,٥٪ نحاس، ويتميز بلونه الأصفر الذهبى وبريقه الفلزى الزاهى ومخدشه الأخضر، وهو المعدن الركازى الأولى الرئيسى للنحاس ولا يخلو منه أى ركاز أولى

للنحاس، كما يشيع وجوده كمعـدن إضـافى فـى كثير مـن الصخـور الناريـة. ويتأثر الكالكوبيريت بسرعة فى الظروف الجويـة ويـذوب منـه النحـاس علـى هيئة كبريتات ويتبقى الحديد فى صورة أكاسيد مائية (ليمونيت).

* البورنيت bornite Cu_5FeS_4: ويحتوى علـى ٦٣,٣٪ نحـاس، ويتمـيز بلونه البرونزى عندما يكون غضا، ولكنه يتأكسد بسرعة كبيرة عند تعرضـه للجو ويتغطى بطبقة رقيقة ذات ألوان بنفسـجية متغـايرة تشـبه إلـى حـد كبير الألوان الناشئة عن زيوت التشحيم عندما تطفو منها طبقـة رقيقـة علـى سـطح الماء، وبزيادة الأكسدة تتحول تلك الطبقـة إلـى اللـون الأسـود، ولكـن بخدشـها بمادة صلبة يظهر اللون البرونزى للمعدن الغض. أما المخدش فهو رصاصى قاتم جدا.

* الكالكوسيت chalcocite Cu_2S: وهو أكثر معادن النحـاس احتـواء عليـه حيث تبلغ نسبته فيه ٧٩,٨٪، وهو المعدن الرئيسى فى أحـد أنـواع ركـازات النحاس الهامة فى حزام النحاس فـى غـرب الأمريكتيـن والتـى تعـرف باسـم ألحفـة الكالكوسـيت chalcocite blankets، ويتمـيز الكالكوسـيت بلونـه الرصـاصى الفلزى اللامـع، ولكنـه يتحـول بسـهولة إلـى الأسـود المغـبر أو المطفىء عند تعرضه للجو، ومخدشه أسود رمادى ومكسره محارى، وتوجـد بعض نوعياته على هيئة هباب (حبيبات دقيقة جدا ذات صلادة منخفضة).

* الكوفليت covellite CuS: وهو صنو الكالكوسيت ودائما مـا يتواجـد معـه فى ألحفة الكالكوسيت ويحتوى علـى ٦٦,٤٪ نحـاس، ويتمـيز بلونـه الأزرق النيلـى ومخدشـه الرصـاصى الفـاتح إلـى الأسـود، وغالبـا مـا يعطـى عرضـا للألـوان irridescence، كمـا أن لـه انفصـام ميكـانى يـؤدى إلـى تشـققه إلـى شرائح رقيقة قابلة للانثناء flexible plates.

• الستانيت stannite Cu_2FeSnS_4: ليس من المعادن الشائعة مثل كبريتيدات النحاس السابقة ولكن أهميته تنبع من احتوائه على القصدير ولذا فهو يعتبر معدنا ركازيا مزدوجا لكل من القصدير والنحاس، ويحتوى على ٢٩,٥٪ نحاس ٢٧,٥٪ قصدير. ويتميز بلونه الرصاصي الحديدي وبريقه الفلزى ومخدشه الأسود.

٢- الأكاسيد:

وتشمل معدنين ثانويين الأول هو الكوبريت cuprite Cu_2S الذى يحتوى على ٨٨,٨٪ نحاس ويتميز ببريقه الفلزى الماسى الزاهى ولونه الأحمر ومخدشه الأحمر البنى، والثانى هو التينوريت tenorite CuS وهو معدن نادر إلى حد ما وغالبا ما يصاحب الكوبريت. ويتكون كلا المعدنين نتيجة تأكسد معادن النحاس الأخرى فى نطاق الأكسدة بعوامل التجوية وتحرر النحاس منها ثم إعادة ترسيبه على هيئة أكسيدية، ولذلك يوجد المعدنان دائما فى الأجزاء العليا من ركازات النحاس المعرضة لعوامل التجوية.

٣- الكربونات:

وتشمل معدنين مشهورين وشائعين وهما المالاكيت malachite $Cu_2CO_3(H_2O)_2$ ويحتوى على ٥٧,٤٪ نحاس والأزوريت $Cu_3(CO_3)_2(H_2O)_2$ ويحتوى على ٥٥,٣٪ نحاس، ويتميز الأول بلونه الأخضر الجنزارى ويتميز الثانى بلونه الأزرق الغطيس، وغالبا ما يتواجدان مع بعضهما، حيث يتكونان نتيجة أكسدة المعادن الكبريتيدية وتحرر النحاس على هيئة كبريتات ذائبة فى المياه السطحية، وعند ملاقاة هذه المياه لأى صخور جيرية فإنها تتفاعل فورا مع كبريتات النحاس لتكوين الكربونات المائية التى تترسب فورا على هيئة مالاكيت وأزوريت، ولذلك تشيع تلك

الألوان الزرقاء والخضراء فى الصخور السطحية نتيجة لشيوع شق الكربونات فيها الذى يعمل على ترسيب أى نحاس ذائب فى المياه السطحية.

٤- هناك عدد كبير من المعادن الثانوية للنحاس يضيق المكان عن حصرها، وهى على العموم ليست بأهمية المعادن السابقة الذكر كمعادن ركازية، ولذلك سنوجز فيما يلى أهمها:

* الأملاح القابلة للذوبان فى الماء: وهى غالبا كلوريدات وكبريتات النحاس وهذه لا تتكون إلا فى المناطق الصحراوية الجافة جدا نتيجة تبخر مياه الأمطار النادرة التى تحتوى على أملاح النحاس الناتجة من تأكسد معادنه الأولية فى ركازاته المعرضة للجو.

* الكريزوكولا chrysocolla: وهو سليكات النحاس المائية وينشأ أيضا من أكسدة المعادن الأولية ويصاحب باقى المعادن الثانوية فى الأجزاء العليا من ركازات النحاس المعرضة للجو. ويتميز أيضا بالألوان الخضراء المزرقة التى تشابه ألوان المالاكيت والأزوريت.

* الفيروز torquise: وهو فوسفات النحاس والألومنيوم المائية، وهو غنى عن التعريف لأنه من أوائل الأحجار الكريمة التى استغلها قدماء المصريين واستخرجوها من سيناء.

ركازات النحاس:

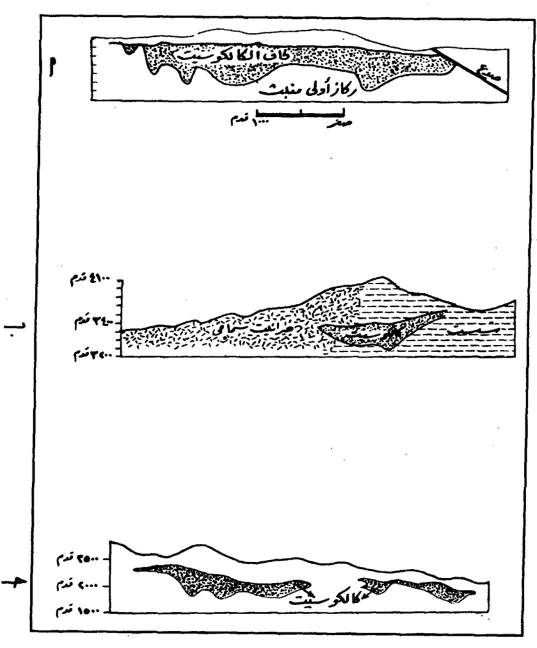
تعتبر ركازات النحاس من أكثر الركازات الفلزية انتشارا وتنوعا من الناحية الجغرافية ومن ناحية البيئات الجيولوجية المختلفة، فهذه الركازات توجد فى نوعيات مختلفة من الصخور النارية والرسوبية والمتحولة، ولذلك فإننا سنستعرض أهم نوعيات تلك الركازات وأهم الأمثلة لها:

١- ركازات النحاس السماقية porphyry copper deposits:

وهى مجموعة من الرواسب التى تجمعها عدة صفات مميزة أهما ارتباطها بنوعية محددة من الصخور النارية الجرانيتية التى لها نسيج سماقى porphyritic texture، وهذا يعنى وجود بعض البلورات بأحجام كبيرة قد تصل إلى بضعة سنتيمترات فى أبعادها، فى أرضية من بلورات أصغر كثيرا فى الحجم، وهذا النسيج يفسر على أن الصخر قد تكون من الصهارة على مرحلتين، مرحلة تبريد بطىء على عمق كبير تكونت فيه الحبيبات الكبيرة، ثم مرحلة تبريد سريع على عمق أقل تكونت فيه الحبيبات الصغيرة، وعادة ما يحدث ذلك فى الصهارات التى تحتوى على نسبة كبيرة من الماء والمواد المتطايرة الأخرى مثل الكلور والفلور والبورون وكذلك نسبة من الفلزات، وهذا يساعد على تركيز الفلزات فى أماكن محددة أثناء تبريد الصهارة. وتوجد ركازات النحاس المصاحبة للصخور السماقية فى هذه الصخور نفسها أو فى الصخور الأخرى المحيطة بها سواء كانت صخورا رسوبية أو بركانية أو متحولة، وذلك نتيجة نفث الغازات والأبخرة الحاملة للنحاس من الصهارات الجرانيتية أثناء تبلورها وتفاعلها مع الصخور المحيطة وترسيب معادن النحاس بها. وبالطبع تتكون تلك الركازات على أعماق كبيرة فى باطن الأرض لا تقل عن بضعة آلاف من الأمتار، وهى لا تظهر لنا قرب السطح إلا بعد عشرات الملايين من السنين بعد أن تزيل عوامل التعرية الجزء الأكبر من الصخور التى تغطيها، فيستطيع الجيولوجيون اكتشافها واستغلالها. وعادة ما يكون تركيز معادن النحاس الأولية المتكونة من الصهارة مباشرة ليس كبيرا فى هذه الركازات، فمحتواها من النحاس عادة أقل من ١٪، ولكن أحجامها الضخمة تعوض هذا الانخفاض فى الرتبة، إلا أن معادن النحاس بطبيعتها تساعد على تركيز النحاس بطريقة أخرى لتكوين

ما يعرف بالحفة الكالكوسيت (شكل ٧-١) من هذه الركازات المنخفضة الرتبة. وتنتشر هذه الركازات في حزامين رئيسيين من الجبال المتوسطة القدم في السلسلة الممتدة حول المحيط الهادى وفي سلسلة جبال الألب والهيمالايا حيث أن تكونها يرتبط بتكون مثل هذه الجبال، ولذلك فهي تتركز بكثرة في في الجزء الغربي من الأمريكتين من ألاسكا وحتى شيلي وكذلك في جنوب شرق آسيا، ويتراح عمر تكونها ما بين ٣٥ إلى ١٦٠ مليون سنة قبل الآن. ودائما ما يرتبط بالنحاس في هذه الركازات بفلزات أخرى أهمها الرصاص والزنك والموليبدينوم والفضة، وأهم معادنها الركازية الأولية هي الكالكوبيريت والجالينا والسفاليريت والموليبدينيت وغيرها.

وتتكون الحفة الكالكوسيت بسبب استجابة معادن النحاس الأولية بسهولة للتحلل الكيميائي بفعل عوامل التجوية (شكل ٧-٢)، فعندما ينكشف راسب النحاس لعوامل التجوية السطحية، فإن معادن الكبريتيدات تتأكسد بسهولة ويتحول النحاس إلى كبريتات نحاس سهلة الإذابة في الماء، وتحمل مياه الأمطار النازلة المتسربة من السطح إلى باطن الأرض تلك الكبريتات الذائبة إلى الأجزاء السفلية من الراسب، وباستمرار العملية يتم غسل أو شطف المنطقة التي تمت فيها الأكسدة وإزالة ما بها من النحاس، وتتبقى فيها المواد غير الذائبة، مثل أكاسيد الحديد والألومنيوم بالإضافة إلى بعض المعادن المقاومة التي لا تتحلل كيميائيا مثل الذهب والكاسيتيريت الموليبدينيت. وتنساب المياه النازلة المحملة بالنحاس الذائبة إلى أسفل حتى تتعدى مستوى الماء الجوفي، وفي رحلتها هذه يظل النحاس في صورته الذائبة طالما كان الأكسجين الجوى متوافرا، ولكن عندما تتعدى تلك المحاليل مستوى الماء الجوفي حيث يغيب الأكسجين الجوى ويصبح الوسط مختزلا، فإن النحاس يعود إلى حالته المختزلة وتتحول الكبريتات الذائبة إلى كبريتيد



شكل ٧ – ١ : اشكال بعض الحفة الكالكوسيت فى ركازات النحاس السماقية بغرض امريكا

شكل ٧ – ٢ : المراحل المختلفة لعملية الأكسدة والإغناء في أحد ركازات النحاس المتبلة

غير ذائب ويترسب على هيئة معدنين هما الكالكوسيت والكوفليت، فيزداد بذلك تركيز النحاس فى المستوى الذى يلى الماء الجوفى مباشرة من أسفل، ليكون أجساما منبسطة ذات سمك أقل بكثير من امتدادها الأفقى، ولذلك سميت ألحفة الكالكوسيت chalcocite blankets، يتراوح سمكها فى حدود الخمسين مترا ويصل امتدادها الأفقى إلى آلاف الأمتار، ويكون سطحها العلوى محددا وواضحا حيث يحدده مستوى الماء الجوفى، أما الحد السفلى فهو دائما متعرج، وأحيانا تكون له امتدادات طويلة إلى أسفل خاصة على طول الشقوق والفوالق الرأسية التى تتساب عليها المياه المحملة بالنحاس إلى أعماق أبعد مما حولها، وعادة ما تكون الحدود السفلية لهذه الألحفة غير واضحة المعالم حيث تقل فيها نسبة الكالكوسيت تدريجيا إلى أن تتلاشى فى الركاز الأولى. وقد يحدث نتيجة للحركات الأرضية أن ترتفع هذه الألحفة إلى أعلى وتدخل فى نطاق الأكسدة، أو تتكشف على السطح، فتعمل فيها عمليات الأكسدة من جديد ويذاب ما تركز فيها من النحاس ليعاد ترسيبه مرة أخرى تحت سطح الماء الجوفى فى لحاف كالكوسيت جديد، وباستمرار هذه العملية عدة مرات يمكن وصول تركيز النحاس إلى نسب عالية جدا. وتكون ألحفة الكالكوسيت عملية جيولوجية شائعة يطلق عليها اسم الأكسدة والشطف والإثماء الثانوى oxidation, leaching and supergene enrichment أو الإثماء الثانوى باختصار، وهى تحدث أيضا لفلزات أخرى بدرجات متفاوتة مثل الزنك واليورانيوم، وتسمى المعادن المتكونة نتيجة لهذه العملية مثل الكالكوسيت بالمعادن الناجمة supergene minerals وهى قريبة من المعادن الثانوية التى تنتج مباشرة من تحلل المعادن الأولية. أما المواد غير القابلة للذوبان والمتخلفة عن الأكسدة والشطف فإنها تبقى على هيئة كتل صخرية ذات أشكال مميزة تكثر فيها الفجوات ومصبوغة بالألوان الحمراء

والصفراء والبنية نتيجة لوجود أكاسيد الحديد ويطلق عليها اسم الجوسان gossan (شكل ٧-٣، ٤)، وهى من الدلالات الهامة علـى وجود الركـازات الكبريتيدية تحتها، ويهتم بها الجيولوجي المستكشف اهتماما خاصا، وقـد أدت مثل هذه الجوسانات إلى اكتشافات هامة.

وهناك حالات يحدث فيها ترسيب النحاس فى منطقة الأكسدة نفسها، نتيجة لتوفر بعض العوامل الكيميائيـة التـى تحـول الكبريتـات إلـى أكاسيد أو كربونـات أو سليكات غير ذائبـة؛ فمثـلا وجـود الحجـر الجيرى فـى منطقـة الأكسدة يجعله يتفاعل أولا بـأول مـع حـامض الكبريتيك النـاتج عـن عمليـات الأكسدة وينطلق ثانى أكسيد الكربون بكثـرة ممـا يؤدى إلـى ترسيب النحـاس على هيئة كربونات مائية (المالاكيت والأزوريت)، ولذلك عندما يكون الصخر الحاوى للمعادن الأولية صخرا جيريـا لا يحـدث إثـمـاء ثـانوى، ولكـن يتحـول الركاز القريب من السطح إلـى ركـاز ثـانوى ويعـرف باسـم الركـاز الأخضـر نسبة إلى لـون المعـادن الثانويـة. وهنـاك ظـروف أخـرى تـؤدى إلـى ترسيب النحاس على هيئة أكاسيد أو سليكات. وفى حالات أخرى عندما يكـون المنـاخ شديد الجفاف فإن الكبريتات نفسها لا تجد الماء الكافى الذى يحملها إلى أسفل فتبقى فى مكانها أو تترسب من الماء نتيجة البخر السريع، وقد حدث هـذا فـى فى راسب شوكى كماتا Cuquicamata فى شيلى (وهو أكبر راسب للنحـاس فى العـالم) وأدى إلـى تكويـن كميـات هائلـة مـن كبريتـات النحـاس قريبـا مـن السطح على هيئة ركاز ذى جودة عالية حيث أن معاملتـه تكـون أسـهل بكثير نتيجة لقابلية ذوبان الكبريتات واستخلاص النحاس منهـا بسـهولة. وقـد يحـدث أيضا أن تخرج المحاليل المذيبة لكبريتات النحاس من منطقة الأكسدة وتتجـول فـى الصخـور المجـاورة وترسب الملاكـايت والأزوريـت فـى شـقوق هـذه



شكل ٧ – ٣ : أحد أجسام الجوسان فى الجابرو الممعدن بإمارة الفجيرة



شكل ٧ - ٤ : التغيرات المصاحبة لأجسام الجوسان فى إمارة الفجيرة

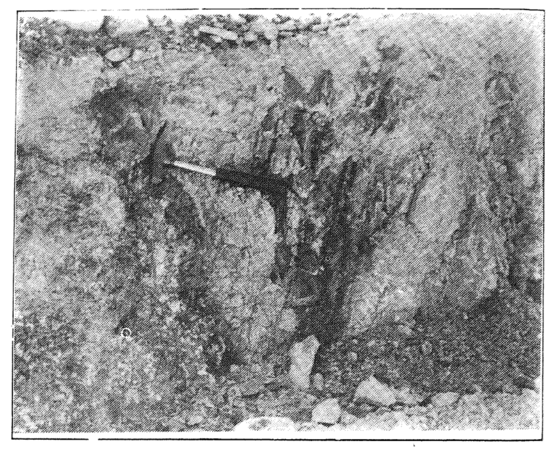
الصخور (شكل ٧-٥). وعادة ما يصاحب هذه العروق تحولات صخرية كثيرة (شكل ٧-٦، ٧).

ومن أهم ركازات النحاس السماقى ركازات بنجام كانيون Bingham Canyon فى يوتا وشوكى كماتا فى شيلى حيث يجرى استخراجهما بطريقة المنجم المفتوح، وتعتبر حفرة بنجام أكبر حفرة منجمية فى العالم، ويقال أنه من الممكن مشاهدتها بالمناظير من على سطح القمر.

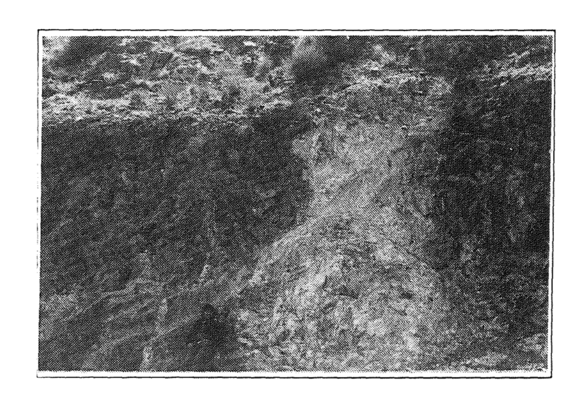
٢- ركازات النحاس الطباقية:

وهذه الركازات تصاحب الصخور الرسوبية أو البركانية وتوجد على هيئة متطبقة، وأهم هذه الركازات حزام النحاس الإفريقى ورواسب الكوبفرشيفر فى منطقة مانسفيلد بألمانيا وورواسب منطقة مونت أيزا باستراليا.

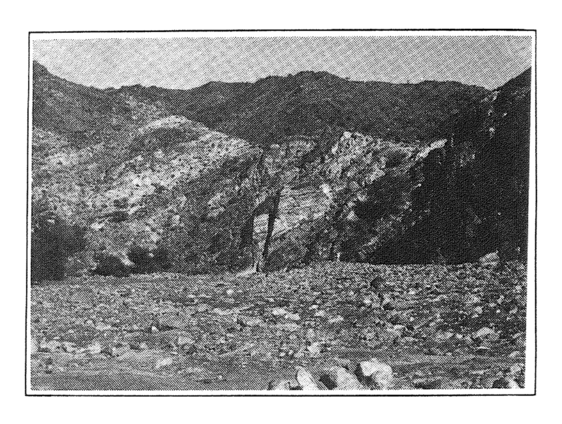
ويمتد على الحدود بين زامبيا وإقليم كاتانجا فى زانير حزام ضخم من رواسب النحاس الطباقية فى تتابع رسوبى يبلغ طوله حوالى ٨٠٠ كم ومتوسط عرضه حوالى ٨٠ كم، ويتكون التتابع الرسوبى أساسا من الطفلة الصفائحية والحجر الدولوميتى والجيرى والحجر الرملى وبعض الصخور الرسوبية الأخرى، ولكن تغيب عنه الصخور البركانية من أى نوع، وقد تأثر هذا التتابع الرسوبى بالطى المعقد الذى يزداد تعقيدا إلى الشمال. ويوجد الركاز فى طبقات الطفلة الكربونية الصفائحية فى الجنوب، أو فى الطبقات الدولوميتية أو الجيرية فى الشمال، وتتكون المعادن الركازية من الكالكوبيريت والبورنيت مع بعض معادن الكوبالت الذى يعتبر ناتجا ثانويا هاما من هذه الركازات. وتوجد هذه المعادن على هيئة معادن منبثة فى الطبقات الرسوبية موزعة توزيعا طباقيا مما يوحى بأنها مترسبة مع



شكل ٧ – ٥ : عروق النحاس فى الجابرو بإمارة الفجيرة



شكل ٧ – ٦ :التحول (الابيض) لعروق النحاس بإمارة الفجيرة



شكل٧-٧: الجابرو المتحول إلى كاولينيت بإماره الفجيره.

الصخور الرسوبية فى نفس الوقت وبنفس العملية. ولسيادة الصخور الكربوناتية فى إقليم كاتنجا فى الشمال، فإن تأكسد معادن النحاس الأولية لا يؤدى إلى شطف النحاس حيث تتفاعل كبريتات النحاس المتكونة من الأكسدة تفاعلا مباشرا مع الصخور الجيرية لتكوين كربونات النحاس على هيئة مالاكيت وأزوريت يبقيان على السطح، ولهذا لا تتم عمليتى الشطف والإنماء الثانوى ولا تتكون ألحفة الكالكوسيت، ويتركز النحاس بالتدريج قريبا من السطح على هيئة ركاز أخضر يسهل تعدينه واستخلاص النحاس منه، أما فى زامبيا، ولقلة المواد الجيرية فإن عملتى الشطف والإنماء الثانوى تتمان وتتكون ألحفة الكالكوسيت تحت مستوى الماء الجوفى.

وتوجد ركازات الكوبفرشيفر فى ألمانيا فى طبقة من الطفلة الكربونية سمكها حوالى ٤٠ سم^{٣}، وقد أمكن تتبع نفس هذه الطبقة شرقا حتى بولندا وغربا حتى انجلترا وعلى طول هذه المسافة تحتوى على تركيزات مختلفة من النحاس، ولكنها أكثر ما تكون حول منطقة مانسفيلد بألمانيا. وتشمل المعادن الركازية فى هذه الطبقة البورنيت والكالكوبيريت والسفاليريت موزعة على هيئة منبثة تضفى على الطفلة هيئة برونزية مميزة. ولهذه الرواسب تاريخ طويل، فقد بدأ استغلالها فى القرن الثالث عشر، ومنذ ذلك الوقت وحتى الآن أنتجت هذه الطبقة ما يزيد على مليونين ونصف طن من النحاس بالإضافة إلى كثير من الرصاص والزنك.

أما ركازات مونت أيزا باستراليا فهى مثال جيد للركازات المصاحبة للتتابعات الرسوبية البركانية، حيث توجد المعادن الركازية فى طفلة ودولوميت مصاحبة لطبقات بركانية كثيرة، ويصاحب النحاس صنواه الدائمين الزنك والرصاص.

ويعتقد أن رواسب النحاس الطباقية، خاصة تلك التى تصاحبها صخور بركانية، قد تكونت نتيجة النشاط البركانى الذى يحدث فى قاع البحر مثل نشاط البحر الأحمر الذى سيأتى ذكره فى فصل لاحق.

٣- ركازات الكبريتيدات الكتلية massive sulphide deposits:

توجد ركازات الكبريتيدات الكتلية مع الصخور البركانية السليسية والمتوسطة فى عدة بيئات جيولوجية، وقد جاءت النظريات الجيولوجية الحديثة المرتبطة بيناتايت اللوحات وتحركات القارات وبينت كيفية تكون هذه الركازات مما أدى إلى فهم الجيولوجيين للظروف والبيئات التى توجد فيها مثل هذه الركازات فهما جيدا، وقد أدى ذلك إلى اكتشافات هامة لكثير من هذه الركازات أضافت إلى الاحتياطى العالمى للفلزات ومنها النحاس. كذلك أدت النظريات الحديثة إلى فهم تتابعات الصخور النارية المافية التى كانت تعرف باسم الأوفيوليت ophiolites وأنها فى الواقع أجزاء من قاع المحيط تموضعت على القارات أثناء تحركات لوحات الغلاف الصخرى للأرض واصطدامها ببعضها، وقد أدى ذلك أيضا إلى فهم أعمق للركازات التى توجد مع هذه التتابعات وبالتالى اكتشاف المزيد منها كما حدث فى قبرص وجبال عمان. وتتكون ركازات الكبريتيدات الكتلية من تركيزات عالية لكبريتيدات النحاس والرصاص والزنك أساسا، ولكن يوجد معها أيضا الذهب والفضة وأحيانا الموليبدينوم، وقد يزيد الذهب إلى الحد الذى يصبح فيه هو الفلز الأساسى فى الركاز وباقى الفلزات نواتج ثانوية كما هو الحال فى رواسب مهد الذهب بالمملكة العربية السعودية. وتوجد هذه الركازات بكثرة فى كل من كندا وأمريكا واليابان واستراليا ودول أخرى عديدة منها المملكة العربية السعودية ومصر.

وقد بلغ إنتاج النحاس الأولى، أى النحاس المنتج من ركازاته حوالى ٨,٣٤ مليون طن فى عام ١٩٨٧ جاء معظمها من شيلى وأمريكا والاتحاد السوفييتى السابق وزائير وزامبيا واستراليا والفليين. ويأتى جزء كبير من الاحتياج العالمى للنحاس من إعادة تدوير الخردة النحاسية واستخلاص النحاس منها، وهذا من الصعب تقديره خاصة على مستوى العالم. ويعتبر النحاس من الفلزات التى يزيد عليها الطلب فى أوقات الحروب، لذلك يتأثر الطلب عليه كثيرا تبعا لحالات السلم والحرب فى العالم، وتبعا لذلك تتأثر أسعاره.

ثانيا: الزنك والرصاص

يوجد هذان الفلزان دائما مع بعضهما فى الركازات، وكثيرا ما يصاحبهما النحاس، ولكن إذا غاب عنهما، فلا يغيب أحدهما عن الآخر، ولذلك دائما ما تعالج ركازات الزنك والرصاص على أنها شيء واحد، وهذا ما سنفعله هنا، وغالبا أيضا ما تحتوى ركازاتهما على نسب من الذهب والفضة تمكن من إنتاجهما كنواتج ثانوية.

ويعتقد أن أول استخدام للزنك كان إبان الحضارة الرومانية لإنتاج بعض نوعيات البرونز، ولكنهم لم يتمكنوا من فصل الفلز نقيا، كذلك يعتقد أن أول تحضير للزنك فى صورته الفلزية كان فى الهند والصين عام 1000 ميلادى، ومنها كان ينقل إلى أوربا، وكان أول انتاجه فى أوربا خلال الثلاثينات من القرن الثامن عشر، وفى عام ١٨٣٤ تم بناء أول فرن لإنتاج

الزنك فى أمريكا. ويحتل الزنك المركز الثلاثين فى الجدول الدورى ويبلغ وزنه النوعى ٧,١٣ وينصهر عند ٤١٩,٥ درجة مئوية.

وأهم استخدامات الزنك فى جلفنة الحديد وصناعة ألواح الحديد المتعرجة المجلفنة والتى تستخدم بكثرة فى الإنشاءات وفى أسقف الورش والمصانع، كما يستخدم الزنك أيضا كطلاء خارجى لبعض نوعيات الصلب المستخدمة فى صناعة السيارات لحمايتها من الصدأ والتآكل، وتستهلك الجلفنة والطلاء حوالى من ٤٠ إلى ٥٠٪ من إنتاج الزنك، يأتى بعدها استخدام الزنك فى صناعة سبائك البرونز التى تستهلك أيضا حوالى ٤٠٪ من الإنتاج العالمى، أما الباقى فيدخل فى الإنشاءات وفى الصناعات الكهربائية والكيميائية وفى صناعة البويات على هيئة أكسيد الزنك الأبيض الذى له درجة بياض عالية وقدرة كبيرة على التغطية وغير سام مثل أكسيد الرصاص الذى قل استخدامه كثيرا فى البويات.

ومعادن الزنك الركازية قليلة، وأهمها على الإطلاق وأكثرها شيوعا هو السفاليريت sphalerite ZnS ويحمل ٦٧٪ زنك، ويختلف عن الكبريتيدات الشائعة بأن خصائصة تقع بين الفلزية واللافلزية، فهو نصف شفاف وبريقه صمغى أو شمعى ويتخذ ألوانا مختلفة من الأبيض إلى المخضر إلى المصفر والبنى وأحيانا الأحمر. أما مخدشه فهو أبيض أو أصفر أو بنى. يأتى بعده فى الأهمية كمعدن ركازى السميثونيت smithsonite $ZnCO_3$، وهو معدن ثانوى ويحتوى على ٦٤,٨٪ أكسيد زنك، ويتخذ عدة ألوان من البنى إلى الأبيض والأخضر والأزرق، وتحتوى النوعيات الصفراء منه على بعض الكادميوم، كذلك يوجد للزنك عدة معادن

ثانوية أخرى منها الفرانكلنيت والهيميمورفيت والزنكيت، وهى كلها تصاحب السفاليريت فى ركازات الزنك والرصاص وتنتج من التحلل المباشر له. وتتعرض ركازات الزنك لعمليات الأكسدة والشطف والإثماء الثانوى مثل رواسب النحاس تماما ولكن بدرجة أقل كثيرا.

أما الرصاص فهو واحد من الفلزات التى لها تاريخ مع الحضارات البشرية القديمة، فقد استخدمه المصريون القدماء وصنعوا منه الأنابيب والمواسير لنقل المياه نظرا لمقاومته للتآكل، وتبعهم بعد ذلك الرومان، كما استخدمه البابليون على هيئة ألواح وآنية لحفظ النباتات فى حدائق بابل المعلقة. وربما يرجع السبب فى ذلك إلى سعة انتشار الجالينا وهو المعدن الركازى الرئيسى للرصاص وسهولة استخلاصه منه، بالإضافة إلى انخفاض درجة انصهاره (٣٢٧ درجة مئوية) وسهولة قطعه وتشكيله وصبه فى قوالب. ويشغل الرصاص الموقع ٨٢ فى الجدول الدورى للعناصر ويبلغ وزنه النوعى ١١,٣٤.

والاستخدام الأساسى للرصاص والذى يستهلك حوالى ٦٥٪ من إنتاجه هو فى صناعة البطاريات، وفى المرتبة الثانية يأتى استخدام رابع إيثيل الرصاص كإضافات لوقود السيارات لتحسين مواصفاته، يأتى بعد ذلك استخدامه فى أعمال السباكة والصرف الصحى وصناعة المقذوفات النارية وفى صناعة الزجاج والبويات وفى بعض المركبات الكيميائية. ولكن اكتشاف الآثار السامة للرصاص حديثا وتكرار حوادث التسمم بالرصاص خلقت شعورا عاما ضد التوسع فى استخداماته.

والمعدن الركازى الرئيسى للرصاص هو الجالينا PbS galena ويحتوى على ٨٦,٦٪ من وزنه رصاص، ويتميز بوجوده على هيئة مكعبات وبانفصامه المكعبى التام ولونه الرصاصى وبريقة الفلزى الشديد اللمعان ووزنه النوعى العالى (٧,٥). وعند تعرض الجالينا لعوامل التجوية فإنه يتحول إلى معدنين ثانويين رئيسيين هما الأنجليزيت والسيروسيت. والأنجليزيت هو كبريتات الرصاص $PbSO_4$ ويحتوى على ٧٣,٦٪ أكسيد الرصاص، أما السيروسيت فيتكون من كربونات الرصاص ويحتوى على ٨٣,٥٪ أكسيد الرصاص، ويتميز كلا المعدنين بالوزن النوعى الكبير بالنسبة للمعادن المشابهة، وفى غالبية الأحوال ليس للمعدنين لون وبريقهما زجاجى. ويتكون المعدنان كمعدنين ناجمين supergene، فى حالة حدوث أكسدة وشطف وإثراء ثانوى للجالينا، ولكن هذه العمليات لا تحدث بسهولة فى حالة الرصاص كما تحدث فى حالة النحاس، فالرصاص أقل ذوبانا بكثير من النحاس، ولهذا فان الجالينا أكثر مقاومة للأكسدة من معادن النحاس الكبريتيدية.

ركازات الزنك والرصاص:

توجد أهم ركازات الزنك والرصاص فى تتابعات من الحجر الجيرى والدولوميت، على هيئة أجسام غيرمنتظمة أو عدسات أو عروق وعريقات شبكية فى طبقة واحدة أو عدة طبقات لها وضع جيولوجى محدد، وتنتشر هذه الرواسب انتشارا واسعا فى نصف الكرة الشمالى فى كل من أمريكا وأوربا وغرب آسيا وشمال أفريقيا، وأفضل التتابعات الرسوبية هى تتابعات الحقب الباليوزوى التى لم تتعرض لعمليات الطى المعقدة، وتوجد الركازات دائما على عمق قريب من السطح لا يزيد على بضع مئات من الأقدام. والتركيب

المعدنى لهذه الركازات فى غاية البساطة؛ فهى تتكون أساسا من الجالينا والسفاليريت فى تلازم دائم، مع العديد من معادن الرصاص والزنك الثانوية التى تنشأ من تحلل المعدنين الأولين، وتشمل المعادن الغثة المصاحبة لها الفلوريت والباريت والمعادن الكربوناتية والسيليكا الكلوية والبيريت والماركزيت، وتتميز بغياب معادن النحاس تماما. وأهم رواسب هذا النوع تلك التى توجد فى ولايات حوض نهر الميسيسبى فى أمريكا، كما توجد أيضا بعضا منها فى كل من الجزائر وتونس، كما توجد بعض رواسب الرصاص والزنك ضمن صخور الحقب الثلاثى على ساحل البحر الأحمر فى مصر فى منطقة أم غيج يحتمل أن تنتمى إلى هذا النوع، كما توجد رواسب مشابهة لها على الجانب الآخر من البحر الأحمر فى المملكة العربية السعودية.

تأتى فى المرتبة الثانية ركازات الزنك والرصاص فى منطقة بروكن هيل Broken Hill فى استراليا، والتى تعتبر فريدة فى نوعها، حيث توجد الركازات فى صخور متحولة قديمة جدا.

بالإضافة إلى ما سبق، فإن جميع ركازات النحاس بكل أنواعها لا تخلو من الرصاص والزنك الذين ينتجان مع النحاس كنواتج رئيسية مثل النحاس تماما أو نواتج ثانوية .

وقد وصل الإنتاج العالمى من الزنك فى عام ١٩٨٧ إلى حوالى ٧,١ مليون طن وكانت أكبر الدول المنتجة هى كندا (١,٤٨) واستراليا (٠,٦٩) وبيرو (٠,٥٣) والمكسيك (٠,٢٩) وأمريكا (٠,٢٤)، وجاء الباقى من الاتحاد السوفييتى السابق واليابان والسويد وبولندا وأسبانيا وأيرلندا والصين وكوريا الشمالية وألمانيا. ويشكل الزنك المستخلص من الخردة حوالى ٥٪ من الإنتاج الكلى.

الفصل الثامن

معادن الوقود النووى

لقد مر التاريخ البشرى بطفرات علمية جعلت المؤرخين يقسمون هذا التاريخ إلى عصور تتميز بهذه الطفرات، مثل عصر البخار وعصر الكهرباء وعصر الفضاء، حتى استخدام الحجارة أُخِذَ كعلامة بارزة فى مشوار الإنسانية الطويل. و كان نجاح أول تجربة لمفاعل نووى عام ١٩٤٢ الذى تم فيه إطلاق الطاقة المحبوسة فى نواة الذرة والتحكم فيها علامة بارزة استحقت أن تكون بداية عصر جديد فى مشوار البشرية يسمى عصر الطاقة النووية، أو الطاقة الذرية. واحتدم النقاش طويلا على مستوى العالم كله حول هذا المصدر الجديد للطاقة، ما لها وما عليها، خيرها وشرها، وتناولها الكثيرون بالكتابة ما بين مؤيد ومعارض فى استخدامها، ولكن الحقيقة الواقعة أن استخدام الطاقة النووية فى توليد الكهرباء يتصاعد تدريجيا منذ الأربعينات وحتى الآن ، كما أن جميع التوقعات تشير إلى أن هذا الاتجاه سيستمر ، لذلك يجب علينا فهم كثير من الأمور التى تتعلق بالطاقة النووية واستخداماتها، وأهمها توليد الطاقة الكهربية، فمما لاشك فيه أن العالم يتجه الآن إلى التقليل من حرق الوقود التقليدى وخاصة البترول والفحم بسبب التغيرات البيئية التى بدأت تظهر آثارها الضارة لزيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون فى الجو، وكذلك لأن هناك استخدامات أفضل للبترول من حرقه.

ولكن ما العلاقة بين موضوع كتابنا هذا وهو المعادن، وبين الوقود النووى؟ الإجابة على هذا السؤال تستلزم استعراض بعض المعلومات الأساسية عن تركيب الذرة والتفاعلات التى تحدث بها؛ ولذا سنبدأ بتوضيح بعض المفاهيم العامة.

الطاقة النووية والطاقة الذرية:

الطاقة النووية والطاقة الذرية تعبيران مرادفان ويعنيان نفس الشيء، وهو الطاقة التي نحصل عليها من تفاعلات تحدث لنواة الذرة، وهي تختلف كثيرا عن الطاقة التي نحصل عليها من المصادر الأخرى ؛ فالطاقة التي نحصل عليها من الوقود العادي بكل أنواعه مثل حرق الفحم أو منتجات البترول هي طاقة منطلقة من تفاعلات كيميائية تنتج كلها من تحركات في الإلكترونات الخارجية للذرات المتفاعلة، ولا تتأثر نواة الذرة إطلاقا بكل هذه التفاعلات، أما الطاقة النووية أو الذرية فهي تلك الطاقة المنطلقة من تفاعلات تحدث لنواة الذرة نفسها، وهذه التفاعلات لا تحدث بالسهولة التي تحدث بها التفاعلات الكيميائية، لأن النواة محمية بإلكتروناتها التي تكون حولها سحابة صعبة الاختراق. والطاقة النووية المنطلقة من تفاعل نواة واحدة تبلغ ملايين المرات الطاقة المنطلقة من تفاعل ذرة واحدة تفاعلا كيميائيا، بمعنى أن الطاقة التي يمكن الحصول عليها من كيلوجرام واحد من الوقود النووي تعادل الطاقة التي يمكن الحصول عليها من آلاف الأطنان. من الفحم أو البترول، وذلك لأن التفاعلات النووية تؤدي إلى تحول جزء من المادة إلى طاقة حسب معادلة النسبية التي تنص على:

$$ط = م\ س^{٢}$$

حيث (ط) ترمز إلى الطاقة مقدرة بالجول، و(م) ترمز إلى المادة المتحولة إلى طاقة مقدرة بالكيلوجرام، و(س) ترمز إلى سرعة الضوء مقدرة بالمتر في الثانية، أي ٣×١٠^{٨} متر/ثانية، وهذا معناه أن كيلوجرام واحد من المادة يعادل طاقة حرارية مقدارها ٢١ ألف مليون مليون (أي ٢١ أمامها ١٥ صفر) سعر حراري (السعر الحراري = ٤,١٨٧ جول)، أي أن المادة ما هي إلا طاقة مركزة تركيزا هائلا، ولكن ما يحدث في التفاعلات النووية هو أن جزء

ضئيل جدا من المادة المتفاعلة هو الذى يتحول إلى طاقة، ومع هذا فإن الطاقة الناتجة من أى تفاعل نووى واحد تعادل ملايين المرات الطاقة الناتجة من أى تفاعل كيميائى، وذلك لأن مربع سرعة الضوء رقم مهول.

الانشطار والاندماج:

تنتج الطاقة النووية المعروفة الآن من تفاعلين نوويين معروفين، يتعلق أحدهما بنواة أثقل العناصر وهو اليورانيوم ويتعلق الآخر بنواة أخف العناصر وهو غاز الإيدروجين؛ فنواة اليورانيوم تحتوى على ٩٢ بروتون وعلى ١٤٣ أو ١٤٦ نيوترون بمجموع ٢٣٥ أو ٢٣٨ جسيم نووى، وهذه الجسيمات بهذا العدد الكبير لا يمكنها البقاء متلاصقة فى نواة واحدة، ولذلك نجد أن أنوية ذرات اليورانيوم غير مستقرة كما يظهر من نشاطها الإشعاعى، كذلك فإن نواة اليورانيوم تميل إلى الانقسام إلى نواتين أصغر، لكى يتوزع هذا العدد الكبير من الجسيمات على نواتين، ويسمى هذا التفاعل "الانشطار النووى" وينتج عنه تحول جزء من كتلة النواة إلى طاقة حرارية، صحيح أن الكتلة المتحولة ضئيلة للغاية ولكنها حسب المعادلة السابقة تعادل كمية مهولة من الطاقة. ولكن التفاعل الانشطارى لا يحدث من تلقاء نفسه، بل لابد له من منشط ويأتى هذا المنشط على هيئة نيوترون شارد فى الفراغ وبالصدفة يخترق السحابة الإلكترونية المحيطة بإحدى نويات اليورانيوم ويصطدم بها فتنشطر النواة إلى نواتين لعنصرين آخرين أخف من اليورانيوم وتفقد جزءا من كتلتها يتحول إلى طاقة. ويحدث هذا التفاعل تلقائيا فى الطبيعة نتيجة لوجود النيوترونات الشاردة ولكنه يتم بمعدل بطىء جدا بحيث تكون الطاقة المنطلقة منه غير محسوحة، ولكن فى عام ١٩٤٢ نجح علماء الطبيعة النووية فى إحداث هذا التفاعل بسرعة كبيرة وبصورة يمكن بها التحكم فى

معدل انطلاق الطاقة، وهذه هي الفكرة الأساسية في مفاعلات توليد الكهرباء الواسعة الانتشار في العالم الآن: وقود نووي تجرى فيه تفاعلات انشطارية بأعداد هائلة ولكن تحت تحكم دقيق وتنتج عنه حرارة تستخدم في إنتاج بخار لإدارة تربينات كهربية. ومن هنا تنبع أهمية اليورانيوم، فأي مادة لأي وقود نووي انشطاري لابد وأن يكون أساسها اليورانيوم، إن لم تكن هي نفسها يورانيوم.

أما الاندماج فهو عكس الانشطار، وفيه تندمج أربع نويات من أنوية الايدروجين لتكون نواة هيليوم واحدة، وتفقد النويات الأربعة جزءا من مادتها لتتحول إلى طاقة حسب معادلة النسبية أيضا، ولكن الكتلة المتحولة إلى طاقة في التفاعل الاندماجي الواحد تعادل ملايين المرات الكتلة المتحولة إلى طاقة في التفاعل الانشطاري الواحد لليورانيوم ، ويحتاج التفاعل الاندماجي إلى درجة حرارة تصل إلى عشرة ملايين درجة مئوية، ولذلك لم يستطع الإنسان استخدام الطاقة الاندماجية إلا في التفجيرات الهيدروجينية التي يستخدم فيها تفجير انشطاري لرفع درجة حرارة النويات المتفاعلة إلى الدرجة المناسبة لبدء التفاعل. وتتكاتف بعض الدول الأوربية منذ سنوات في دراسات مكثفة لمحاولة استخدام التفاعل الاندماجي في مفاعلات حرارية مثل المفاعلات الانشطارية السائدة حاليا، ويبدو أن تلك الدراسات قد أسفرت عن بعض التقدم. ويتميز التفاعل الاندماجي بأن النفايات المشعة الناتجة عنه أقل من التفاعل الانشطاري. وجدير بالذكر أن التفاعل الاندماجي هو التفاعل الذى يحدث في لباب النجوم وهو مصدر الطاقة التي تشعها، فقد قدر أن لب الشمس يحرق في الثانية الواحدة ٥ مليون طن أيدروجين حرقا نوويا اندماجيا ليتحولوا إلى هيليوم.

إذن نخلص من ذلك إلى أن الوقود النووى ينقسم إلى نوعان: الأول هو الوقود الانشطارى، والعنصر الرئيسى فيه هو اليورانيوم، والثانى هو الوقود الاندماجى، والعنصر الرئيسى فيه هو الإيدروجين. وما يخصنا فى هذا المجال وسنقصر حديثنا عليه هو الوقود الانشطارى، أى اليورانيوم.

وحيث أن اليورانيوم فلز طبيعى مثل الحديد والنحاس والرصاص، فإن مصدره الوحيد هو المعادن، ولذلك فإن الحصول على اليورانيوم هو واجب جيولوجى، من حيث دراسة معادن اليورانيوم والبحث عنها واستخراجها ثم استخراج اليورانيوم منها. وأى حديث عن اليورانيوم لابد وأن يشتمل أيضا على الثوريوم، وهو فلز آخر يشترك مع اليورانيوم فىإنتاج الوقود النووى، بالرغم من أن الثوريوم غير قابل للانشطار مثل اليورانيوم، ولكن بطريقة ما يمكن تحويله إلى أحد نظائر اليورانيوم القابلة للانشطار، ولهذا يمكن اعتبار الثوريوم مادة خصبة يمكن تحويلها إلى مادة قابلة للانشطار.

معادن اليورانيوم وركازاته:

يوجد اليورانيوم فى صخور القشرة الأرضية بنسب ضئيلة، فمتوسط وجوده فى الصخور الجرانيتية هو ٨ فى المليون وفى الصخور البازلتية ١ فى المليون وفى الصخور الرسوبية ٢ فى المليون، أما فى مياه البحر فيقل تركيزه إلى ٠,٠٠١ فى المليون. وأقل نسبة لليورانيوم فى ركازاته هى حوالى ٠,١٪ وإذا قدرنا أن متوسط وجوده فى الصخور بصفة عامة هو ٢ فى المليون، يصبح معامل تركيزه هو ٥٠٠.

ويوجد لليورانيوم عدد كبير من المعادن الركازية، كما أنه يوجد بنسب ضئيلة فى عدد كبير من معادن العناصر الأخرى، علاوة على وجوده فى صور أخرى فى بعض الصخور، ولذلك من السهل الحصول على اليورانيوم

كناتج ثانوى من ركازات أخرى. وأهم معادن اليورانيوم الركازية على الإطلاق هو البتشبلند أو اليورانينيت pitchblende - uraninite وهو أكسيد اليورانيوم الطبيعى، ويتميز بلونه الأسود وكثافته العالية ونشاطه الإشعاعى، وتتراوح نسبة اليورانيوم فى هذا المعدن من حوالى ٤٦٪ إلى ٨٨٪. ثم تأتى فى المرتبة الثانية مجموعة مركبات كيميائية أكثر تعقيدا لليورانيوم وبعض العناصر الأخرى وتتميز بألوانها الأصفر والبرتقالى والأخضر الزاهى ، وتتراوح نسبة اليورانيوم بها من حوالى ٥٥٪ إلى ٦٠٪ ولها أيضا نشاط إشعاعى.

وحتى عام ١٩٧٠ كانت ركازات اليورانيوم تقسم إلى نوعين أساسيين أولهما وأهمها ركازات اليورانيوم فى الصخور الرسوبية، وثانيهما ركازات اليورانيوم فى الصخور النارية والمتحولة. ففى النوع الأول توجد معادن اليورانيوم على هيئة حبيبات دقيقة منبثة فى بعض الصخور الرسوبية وبصفة خاصة فى الحجر الرملى والرصيصى. والحجر الرملى يتكون من حبيبات رملية متماسكة، أما الرصيص فهو يتكون من حبيبات غليظة متماسكة مع بعضها بمواد لاحمة، ويمكن تشبيهه إلى حد كبير بالخرسانة. وأشهر ركازات اليورانيوم فى الحجر الرملى هى ركازات هضبة كلورادو بالولايات المتحدة الأمريكية والتى تمدها بالجزء الأكبر من احتياجها لليورانيوم، وأشهر رواسب اليورانيوم فى الرصيص هى ركازات جنوب أفريقيا وكندا حيث يوجد الذهب منبثا مع اليورانينيت فى الرصيص، وتتراوح نسبة اليورانيوم فى غالبية الركازات من هذا النوع من ٠,٠٢٥٪ (٢٥٠ جرام فى الطن) إلى ٠,٢٪ (٢ كيلو جرام فى الطن). وعادة ماتكون تلك الركازات ذات أحجام هائلة، ففى عام ١٩٧٠ قدر أن ٩٠٪ من احتياطى اليورانيوم فى العالم يوجد فى ركازات من هذا النوع.

أما النوع الثانى من ركازات اليورانيوم، وهو مايتواجد فى الصخور النارية والمتحولة ففيه توجد معادن اليورانيوم (اليورانينيت غالبا) مختلطة بمواد صخرية أخرى على هيئة عروق أو أشكال أخرى متعددة، وقد تصل نسبة اليورانيوم فى هذا النوع من الركازات إلى ٨٪ أو أكثر وهى نسبة كبيرة ولكن أحجام تلك الركازات تكون صغيرة، ففى التقدير الذى أشير إليه وجد أن تلك الركازات لاتحوى أكثر من ١٠ ٪ من احتياطى اليورنيوم فى العالم.

ومع تقدم السبيعنات ظهر نوع جديد من ركازات اليورانيوم ينحصر فى الأسطح الفاصلة بين نوعين من الصخور بينهما اختلاف كبير. يتكون النوع الأول من صخور نارية ومتحولة تعرضت لكثير من عمليات التشوه والطى ويطلق عليها اسم صخور القاعدة basement rocks، ويتكون النوع الثانى من طبقات شبه أفقية من الحجر الرملى على هيئة غطاء يعلو صخور القاعدة. وتسمى الأسطح الفاصلة بين هاتين المجموعتين من الصخور بأسطح عدم التوافق unconformity surfaces، ولذلك سميت هذه الركازات بركازات اليورانيوم اللاتوافقية unconfomity uranium deposits، وتتميز باحتوائها على نسب عالية جدا من اليورانيوم تصل إلى ٧٪ أو أكثر، وقد تم العثور على عدد من هذه الركازات فى كل من استراليا وكندا، ووصل متوسط نسبة اليورانيوم فى أحد الركازات الكندية من هذا النوع إلى حوالى ٤٠٪، وباكتشاف هذا النوع الجديد من ركازات اليورانيوم تغيرت الصورة تماما بالنسبة لتوزيع الاحتياطى العالمى بين الركازات المختلفة.

وفى أواخر السبيعنات ظهر نوع جديد آخر من ركازات اليورانيوم أطلق عليه الركازات السطحية calcrete uranium deposits ويتكون فى المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية نتيجة لترسيب مركبات اليورانيوم

الذائبة من الصخور السطحية بالتبخير بعد تجمع هذه المياه بعد الأمطار والسيول فى أحواض مغلقة، حيث تختلط مركبات اليورانيوم مع الرواسب الترابية السطحية. ويشترط لتكوين تلك الرواسب مرور المياه السطحية على مصدر لليورانيوم حيث تذيبها منه وتحمله معها، ومن أحسن المصادر فى مثل هذه الظروف صخور الفوسفات والصخور البركانية الحامضية وكثير من الصخور الجرانيتية، وتحتوى هذه الركازات السطحية على نسب ضئيلة من اليورانيوم فى حدود ٠,٠٥٪، ولكن أهميتها ترجع إلى سهولة استخراجها وسهولة استخلاص اليورانيوم منها، فهى رواسب سطحية هشة.

وبتقدم الثمانينات تم اكتشاف نوعيات أخرى من ركازات اليورانيوم بحيث أصبح الآن العدد الرسمى المتعارف عليه جيولوجيا لهذه الركازات هو ١٥ نوعا.

ويستلزم الحصول على اليوارنيوم من معادنه المرور بمراحل عديدة تستخدم فيها كل التكنولوجيا الحديثة، تبدأ باستكشاف مناطق احتمال وجود اليورانيوم ثم التنقيب والبحث التفصيلى فى المناطق التى يعثر فيها على شواهده، ثم الدراسة التفصيلية للصخور التى يوجد فيها ثم التقييم النهائى لها. فإذا ما وصل موقع من تلك المواقع إلى رتبة الراسب المعدنى كما بينا سابقا، يبدأ استخراج ركاز اليورانيوم بواسطة عمليات التعدين المناسبة، ثم ينقل الخام إلى وحدات الاستخلاص حيث يمر بمراحل متعددة من الطحن ثم المعالجة الكيميائية.

والناتج النهائى لكل تلك العمليات هو مسحوق ناعم ذو لون أصفر يسمى الركاز الأصفر أو العجينة الصفراء yellow cake وفيه تكون نسبة اليورانيوم حوالى ٧٥٪. وقد بلغ سعر الركاز الأصفر فى أسواق الولايات المتحدة الأمريكية فى أوائل ١٩٨٠ حوالى ٩٠ دولار للكيلو جرام الواحد

(٩٠ ألف دولار للطن)، ولكنه انخفض فى أوائل التسعينات إلى حوالى ٢٠ دولار، ولكنه بدأ فى الارتفاع مرة أخرى فى منتصف التسعينات، ومن المتوقع أن يواصل ارتفاعه نتيجة زيادة الطلب عليه عن المعروض منه، بل قد تنشأ أزمة فى امدادات اليورانيوم فى أوائل القرن القادم.

وبالإضافة إلى ركازاته، فإن اليورانيوم يوجد فى بعض الصخور أو ركازات العناصر الأخرى بنسب أكثر بكثير من المعدلات العادية بحيث إذا استخدم مثل هذا الصخر فى أغراض أخرى أمكن الحصول على اليورانيوم كناتج ثانوى منه، ومثال ذلك الفوسفات الصخرى الذى يحتوى على نسبة من اليورانيوم تتراوح من ٣٠ إلى ٢٠٠ جزء فى المليون، ويمكن استخلاص نصف ذلك اليورانيوم على الأقل من الفوسفات عند تصنيعه إلى حامض الفوسفوريك، كذلك تحتوى كثير من ركازات النحاس فى شيلى على نسب ضئيلة من اليورانيوم يمكن استخلاص جزء منها أثناء استخلاص النحاس.

اليورانيوم كوقود نووى :

يوجد لليورانيوم ثلاثة نظائر تشترك كلها فى الرقم الذرى ٩٢ ولكنها تختلف فى أوزانها الذرية وهى اليورانيوم ٢٣٨ ويكوّن حوالى ٩٩,٧ ٪ من اليورانيوم الطبيعى، واليورانيوم ٢٣٥ ويكون ٠,٧٪، واليورانيوم ٢٣٣ ويكون نسبة ضئيلة جدا لاتذكر، فكأنه غير موجود. ومن نظيرى اليورانيوم (٢٣٥، ٢٣٨) نجد أن الأول هو الوحيد القابل للانشطار؛ ولهذا يمكن استخدامه كوقود فى المفاعلات النووية، أما الثانى فهو غير قابل للانشطار ولايمكن استخدامه كوقود، غير أن أهميته تنبع من خاصية أخرى وهى أنه "مادة خصبة" ويعنى ذلك أن نوياته تمتص النيوترونات، وبذلك يتحول إلى عنصر آخر هو نظير البلوتونيوم ٢٣٩ الذى لا يوجد فى الطبيعة، أى أنه

عنصر صناعي، وهذا الأخير عنصر قابل للانشطار ويمكن استخدامه كوقود للمفاعلات، وهناك طرق يمكن بها تحويل اليورانيوم ٢٣٨ إلى بلوتونيوم ٢٣٩ في مفاعلات من نوع معين تعرف بالمفاعلات المولدة breeder reactor وبهذا يمكن اعتبار كلا النظيرين وقودا نوويا.

والطاقة الحرارية المنبعثة من حرق - أو بمعنى أصح انشطار - نويات كيلو جرام واحد من اليورانيوم ٢٣٥ تعادل الطاقة الحرارية المنبعثة من حرق ٢٧٠٠ طن من الفحم الحجري البيتيوميني أو ٢٠٠٠ طن من زيت البترول الخام.

وقد قدر الاحتياطي العالمي المؤكد لليورانيوم في عام ١٩٩٠ بحوالي ٢ مليون طن (باستثناء دول الكتلة الشرقية) يوجد أكثر من نصفه في خمس دول هي أمريكا وجنوب أفريقيا واستراليا وكندا وفرنسا، وهذا لا يعكس التوزيع الطبيعي لليورانيوم أكثر مما يدل على التخطيط السليم لعمليات البحث عن اليورانيوم في تلك الدول. وقد بلغ الإنتاج العالمي لليورانيوم في عام ١٩٧٩ م ٣٨٠٠٠ طن لم يستهلك منه أكثر من ٢٨٠٠٠ طن في نفس العام وأضيف الباقي إلى المخزون العالمي الذي أخذ يزداد في السنين القليلة التالية التي ظل فيها الإنتاج يفوق الاستهلاك ويتزايد المخزون العالمي، وقد أدى ذلك إلى انخفاض سعر اليورانيوم والتراخي إلى حد ما في أعمال استكشاف مصادر جديدة نتيجة حجب الاستثمارات، ولكن مع تزايد استهلاك اليورانيوم في المحطات النووية لتوليد الكهرباء، تصاعد الطلب العالمي عليه حتى فاق الإنتاج، وأخذ المخزون يتناقص بعد أن كان يتزايد، وعاد السعر إلى الارتفاع تدريجيا. وحاليا يتم تعويض الفرق بين العرض والطلب على اليورانيوم من المخزون العالمي. وحسب التقديرات العالمية في أواخر ١٩٩١ فإن المخزون العالمي الذي يعوض النقص في الإنتاج سينضب

حوالى عام ٢٠٠٠، ولن لم تظهر مصادر جديدة حتى نهاية القرن الحالى سيبدأ القرن الحادى والعشرون بعجز فى اليورانيوم، ولكن هذا التوقع سيشجع عودة الاستثمارات المكثفة فى مجالات استكشاف اليورانيوم لإيجاد مصادر إضافية. وقد حدثت مثل هذه الظروف فى حالة اليورانيوم قبل ذلك، وكان اكتشاف ركازات اليورانيوم اللاتوافقية نتيجة تكثيف أعمال الاستكشاف بناء على توقعات سابقة بعجز فى إنتاج اليورانيوم فى أواخر السبعينات. ويعتبر هذا التذبذب فى الإنتاج وفى استكشاف الثروات المعدنية أمرا عاديا.

اليورانيوم فى الوطن العربى

لم ينتج الوطن العربى أى كمية من اليورانيوم حتى الآن فيما عدا الجزائر وليس ذلك ناتجا عن فقر فى خامات اليورانيوم ولكنه ناتج عن القصور فى أنشطة استكشافه. أما عن الاحتياطيات المؤكدة والمحتملة فى كل دولة عربية على حده فهى غير مقدرة إلا فى القليل النادر؛ فالجزائر هى الدولة الوحيدة التى استطاعت تحقيق احتياطى مؤكد من اليورانيوم يقدر ب ٢٦ ألف طن منها ٢٤ ألف طن فى الصخور الجرانيتية و ٢٠٠٠ طن فى الحجر الرملى، هذا بالرغم من أن نشاط التنقيب عن اليورانيوم لم يبدأ فى الجزائر إلا عام ١٩٦٩، وفى الصومال توجد احتياطيات محتملة قد تصل إلى ١٠,٠٠٠ طن معظمها على هيئة رواسب سطحية، وفيما عدا ذلك فكل التقديرات افتراضية أو جزافية. أما عن أنشطة الاستكشاف والتنقيب عن اليورانيوم فتعتبر مصر أكثر الدول العربية نشاطا فى هذا المجال؛ فقد بدأت هذه الأنشطة عام ١٩٥٦ وأدى ذلك إلى ظهور احتمالات جيدة فى عدة

مواقع بالصحارى المصرية، وتلى مصر فى أنشطة استكشاف اليورانيوم سوريا والجزائر والمملكة العربية السعودية والسودان وليبيا.

أما عن احتمالات المستقبل فإن الوطن العربى بمساحته الشاسعة وتنوع التكوينات الجيولوجية به يبشر باحتمالات جيدة لتواجد ركازات اليورانيوم، وأكثر الاحتمالات هى:

- رواسب اليورانيوم فى الصخور الجرانيتية:

تكون هذه الصخور جزءا كبيرا من صخور الدرع العربى النوبى فى مصر والسودان والسعودية والصومال فى الجبال المتاخمة للبحر الأحمر على الجانبين، كما تتواجد فى بعض أجزاء المغرب العربى، وتشير دراسات المسح الإشعاعى فى مصر إلى نوعيات معينة من صخور الجرانيت تحتوى على تركيزات من معادن اليورانيوم فى عدة مناطق على طول جبال البحر الأحمر، وأهمها منطقة جبل قطار التى تقع غرب الغردقة بحوالى ٦٠ كم، ومنطقتى العرضية والمسيكات الواقعتين عند منتصف المسافة بين قنا وسفاجا، ومنطقة أم أرا الواقعة جنوب شرق أسوان بحوالى ٢٦٠ كم، ولا زالت الاكتشافات تتوالى فى الصخور الجرانيتية والصخور المتعلقة بها فى مصر. وتزخر صخور الدرع العربى فى المملكة العربية السعودية بأنواع الجرانيت المختلفة ومنها النوعيات التى يمكن أن تتواجد بها ركازات اليورانيوم، ولقد أدى المسح المبدئى لبعض هذه الصخور الجرانيتية إلى اكتشاف معادن اليورانيوم بها مما يبشر باحتمالات جيدة. وكذلك الحال فى السودان حيث اكتشفت معادن اليورانيوم الأولية والثانوية فى حفرة النحاس بجنوب غرب السودان.

- رواسب اليورانيوم فى الحجر الرملى:

يكون الحجر الرملى جزءا كبيرا من تكوينات الحقب الأول والثانى والثالث فى مختلف أقطار الوطن العربى، وقد تم العثور على شواهد جيدة فى هذه الصخور فى كل من مصر وليبيا، إلا أن أعمال الاستكشاف فى هذه الصخور لازالت فى مراحلها الأولية. ومن العوامل الهامة لتكوين معادن اليورانيوم وركازاته فى صخور الحجر الرملى فى العصر الثالث فى كل من مصر وليبيا وجودها فوق مستودعات البترول حيث تؤدى الغازات الطبيعية المنبعثة من هذه المستودعات إلى خلق بيئة كيميائية مختزلة تعمل على ترسيب اليورانيوم من المياه الجوفية.

- رواسب اليورانيوم اللاتوافقية:

(Un-conformity Uranium Deposits)

يشكل سطح عدم التوافق بين صخور القاعدة للدرع العربى النوبى وصخور الحجر الرملى التى تعلوه بيئة هامة لتواجد رواسب اليورانيوم، وهى بيئة شائعة فى كل من مصر والسعودية والسودان، ولكنها لم تستكشف بعد. وهذه البيئة الجيولوجية تشابه إلى حد كبير بيئة رواسب اليورانيوم اللاتوافقية فى كندا واستراليا، مع فارق هام وهو العمر، ففى كل من كندا واستراليا يبلغ عمر صخور القاعدة ٢٥٠٠ مليون سنة أو أكثر بينما فى الوطن العربى لا تصل صخور القاعدة إلى هذا العمر، وهنا يثور السؤال الجيولوجى الهام: هل العمر شرط لتكون مثل هذه الرواسب؟

- رواسب اليورانيوم السطحية:

يشكل المناخ الصحراوى الذى يسود معظم أجزاء الوطن العربى ظروفا مناسبة لتكون رواسب اليورانيوم السطحية. وفى هذه الرواسب يأتى

اليورانيوم من الصخور الجرانيتية أو الفوسفاتية أو البركانية نتيجة شطفه بمياه الأمطار ثم يعاد ترسيبه فى الرواسب السطحية بالتبخير أو بواسطة بعض التفاعلات الكيميائية. ويعتقد أن الصومال بها بعض هذه الرواسب.

- رواسب أخرى:

إن التنوع الجيولوجى فى الوطن العربى يعطى الاحتمالات الجيدة لتواجد نوعيات جديدة من رواسب اليورانيوم غير معروفة فى الدول الأخرى، والدليل على ذلك وجود ركازات اليورانيوم فى منطقة العطشان فى الصحراء الشرقية المصرية غرب القصير بحوالى ٦٠ كم. وتوجد هذه الركازات على الحدود الفاصلة بين قواطع من الصخور النارية فى صخور متطبقة، وقد كانت هذه من أوائل المناطق التى اكتشف فيها اليورانيوم فى مصر فى أوائل الستينات ونالت حظا لا بأس به من أعمال التنمية الجيولوجية، ولكنها توقفت بعد ذلك لأسباب غير واضحة، ربما تكون منها حرب ١٩٦٧، ولكن من المعتقد أنه يجب العودة إلى هذه المنطقة مرة أخرى فى ظل الظروف الجديدة. كذلك توجد فى شمال الصحراء الغربية بالقرب من جبل قطرانى الذى يقع حوالى ٧٠ كم جنوب غرب القاهرة نوعية أخرى من الحجر الرملى الحامل لليورانيوم، وتعتبر نوعية نادرة إن لم تكن غير متكررة فى مناطق أخرى من العالم.

بالإضافة إلى ذلك فإن الاحتياطى الضخم من رواسب الفوسفات فى الوطن العربى يشكل مصدرا هاما لليورانيوم كناتج ثانوى. وقد اكتشفت تركيزات عالية من معادن اليورانيوم فى أجزاء محددة من صخور الفوسفات فى كل من المغرب وسوريا، كما أن ظهور هذه الرواسب على السطح وتعرضها لعوامل التعرية يجعلها مصدرا هاما لليورانيوم الذائب فى المياه

الجوفية الذى يمكن تركيزه فى الظروف المناسبة على هيئة رواسب سطحية أو رواسب فى الحجر الرملى.

الثوريوم فى الطبيعة

يوجد الثوريوم فى الطبيعة على هيئة نظير واحد فقط وزنه الذرى 232، وتبلغ نسبة شيوعه فى القشرة الأرضية ثلاثة أمثال اليورانيوم تقريبا، وخارج نطاق المجال النووى فإن استخداماته محدودة جدا فى بعض أنواع السيراميك والخزف وبعض الاستخدامات الأخرى، وبالرغم من ذلك فإن استخدامه يتناقص لأنه مشع. ويدخل الثوريوم فى تركيب عدد كبير من المعادن الأولية مصاحبا للعناصر الأرضية النادرة وبعض الفلزات النادرة، وفى أغلب الأحيان اليورانيوم أيضا، وأهم تلك المعادن كمصدر للثوريوم هو المونازيت ، وهو فوسفات العناصر الأرضية النادرة أساسا مع الثوريوم وقليل من اليورانيوم، وتصل فيه نسبة الثوريوم حتى ٢٠٪ تقريبا. ويعتبر المونازيت هو المصدر الوحيد للثوريوم فى الوقت الحاضر لتوافره بكثرة تزيد كثيرا عن الحاجة إليه، مما لا يشجع على إيجاد مصادر بديلة، خاصة وأن المونازيت يستخدم أساسا لاستخلاص العناصر الأرضية النادرة، ويعتبر الثوريوم ناتج ثانوى لها. ويوجد المونازيت فى أنواع متعددة من الصخور ولكن بنسب ضئيلة جدا لا ترقى بها لرتبة الركاز، ولهذا فإن المصدر الوحيد تقريبا للمونازيت هو الرمال السوداء التى تحتوى على معادن اقتصادية أخرى بجانب المونازيت. وأشهر مناطق تواجد الرمال السوداء هى البرازيل والهند واستراليا ومصر التى يزخر شاطئها الشمالى من رشيد وحتى العريش بتلك الرمال. وقد تكونت تلك الرمال بفعل نهر النيل الذى يحمل مكوناتها

ضمن الطمي؛ وعندالمصب يتم تركيز تلك الرمال السوداء بفعل التيارات البحرية ويتم توزيعها على طول الشاطىء حسب اتجاهات تلك التيارات. وطبيعي أن حجز طمي النيل أمام السد العالي سيمنع وصول مزيد من الرمال السوداء إلى الشاطىء الشمالي ولكن المعتقد أن هناك احتياطيا مهولا من تلك الرمال. كما توجد بعض رواسب الرمال السوداء المحدودة في السودان في حوض بحر الغزال وفي بعض المناطق في الصومال. وستكون لنا عودة إلى الرمال السوداء كموضوع مستقل لأنها مصدر هام لعدد كبير من المعادن الاقتصادية.

وخلاصة القول أن الوطن العربي يملك احتمالات جيدة لتواجد خامات الوقود النووي إلا أن استكشاف تلك الاحتمالات لازالت في المرحلة البدائية، ولقد آن الأوان لاتخاذ الخطوات الإيجابية لتعاون عربي وثيق في هذا الشأن.

الفصل التاسع

معادن فلزات نزرة وغير تقليدية

هناك عدد كبير من الفلزات النزرة التى يمكن اعتبارها فلزات غير تقليدية فى اللغة الدارجة حيث أنها غير مشهورة مثل الفلزات التى استعرضناها حتى الآن، وهى تستخدم بمقادير ضئيلة فى مجالات متعددة، ولكن ذلك لا يعنى عدم أهميتها، بل على العكس تزداد أهمية الكثير من هذه الفلزات مع التقدم العلمى والتكنولوجى فى تطبيقات الطاقة النووية والمفاعلات وغزو الفضاء والإلكترونيات والحاسبات، كما أنها تضفى صفات خاصة لم تكن متاحة عند سبكها مع الفلزات التقليدية مثل الحديد والنحاس والألومنيوم، ولذلك جُمِعَتْ كل هذه الفلزات النزرة أو غير التقليدية فى فصل واحد. ويمكن تقسيم هذه الفلزات إلى مجموعتين: تضم الأولى ما يسمى العناصر الأرضية النادرة **rare earth elements** وتشمل ١٧ فلزا، وتضم الثانية تسعة فلزات سنطلق عليها مجتمعة تعبير الفلزات النادرة، نضيف إليها البريليوم والراديوم الذين ينتميان إلى القلويات الأرضية، وقد جمعت مع بعضها هنا لمجرد سهولة عرضها دون أن تكون هناك أسس كيميائية لهذا الجمع. بالإضافة إلى ذلك هناك ثمانية فلزات أخرى لا يوجد لها استخدامات حتى الآن وهى كلها فلزات نادرة الوجود ولن نتعرض لها.

أولا: معادن العناصر الأرضية النادرة

تشمل العناصر الأرضية النادرة حسب تعريف الاتحاد الدولى للكيمياء البحتة والتطبيقية سبعة عشرة فلزا هما السكانديوم **scandium** والإتريوم

yttrium بالإضافة إلى خمسة عشرة فلزا أخرى يطلق عليها اسم اللانثانيدات lanthanides نسبة إلى العنصر الأول فيها وهو اللانثانوم lanthanum، ولكن هناك بعض المراجع التى تقصر تعبير "العناصر الأرضية النادرة" على اللانثانيدات فقط. وتتشابه الخصائص الكيميائية لهذه الفلزات خاصة اللانثانيدات إلى حد كبير ولذلك غالبا ما توجد مع بعضها فى المعادن المختلفة، ولكن أيضا تختلف فيما بينها اختلافات بينة فيما يختص باستخداماتها و بعض الخصائص الفيزيائية؛ فمثلا تتراوح درجة انصهارها من ٩١٨ إلى ١٦٦٣ درجة مئوية. وحتىعهد قريب لم يكن من الممكن فصل هذه الفلزات عن بعضها، وكانت استخداماتها كمجموعة واحدة محدودة جدا، ولكن التقدم العلمى مكن مؤخرا من فصل هذه العناصر عن بعضها ووجدت لها استخدامات كثيرة فى الصناعات الدقيقة والتكنولوجيا المتقدمة.

ويقسم الكيميائيون اللانثانيدات إلى قسمين، الأول هو اللانثانيدات الخفيفة وتضم ستة فلزات واللانثانيدات الثقيلة وتضم التسعة فلزات الأخرى ويتراوح شيوع هذه العناصر ما بين ٤٦ إلى ٠,٢ جزء فى المليون، وهى توجد بنسب ضئيلة فى عدد كبير من المعادن المكونة للصخور وتستخدم كثيرا فى الدراسات الصخرية والجيوكيميائية وفى تفسير نشأة الصخور والمعادن وتطورها، أما معادنها الركازية؛ أى المعادن التى تحتوى عليها بالنسب التى تسمح باستخلاصها بصورة اقتصادية، فهى قليلة وأهمها ثلاث معادن هى المونازيت والباستنازيت والزينوتيم، ويمثل المونازيت ٥٢٪ من مصادر العناصر الأرضية النادرة، و يمثل الباستنازيت ٤٣٪ من هذه المصادر، والزينوتيم وبعض المصادر الأخرى النسبة الباقية. وهذه المصادر الأخرى تشمل معدن الأباتيت وركازات اليورانيوم وصخور الفوسفات وبعض المعادن النادرة مثل الجادولينيت والأوكسينيت. ومن الملاحظ أن مجموع

اللانثانيدات الخفيفة تسود مجموعة اللانثانيدات الثقيلة فى معظم هذه المصادر. وتوجد معادن العناصر الأرضية النادرة فى الصخور النارية بنسب ضئيلة جدا على هيئة معادن إضافية accessory minerals لا تسمح باستخلاصها اقتصاديا إلا فى حالات قليلة مثل بعض الصخور القلوية وصخور الكربوناتيت وعروق البجماتيت وبعض الصخور الجرانيتية حيث تزيد هذه النسب بما يسمح بالاستخلاص الاقتصادى، ولكن نظرا لأن هذه المعادن من المعادن الثقيلة والتى تقاوم التحلل الكيميائى فإنها تتحرر من صخورها أثناء عمليات التجوية ويتم تركيزها فى المراقد بصور متعددة كالرمال السوداء مثلا. ويتكون المونازيت من فوسفات العناصر الأرضية النادرة مع الثوريوم وقليل من اليورانيوم وتصل فيه نسبة أكاسيد العناصر الأرضية النادرة إلى ٥٥-٦٠٪ ونسبة أكسيد الثوريوم إلى ١-٢٠٪، ويحتوى أيضا على نسب متفاوتة من السليكا كشوائب أو مكتنفات من معدن الثوريت الذى يتكون من سليكات الثوريوم. وتتخذ بلورات المونازيت الهيئة المنشورية ولكنها نادرة، ولونه بنى مصفر أو مائل إلى الاحمرار وهو نصف شفاف وبريقه راتنجى وصلادته تتراوح من ٥ إلى ٥,٥ ووزنه النوعى يتراوح من ٥ إلى ٥,٣.

وفى حوالى ٩٥٪ من استخدامات العناصر الأرضية النادرة تستخدم كلها كوحدة واحدة، وفى ال ٥٪ الأخرى، التى تشكل ٥٠٪ من القيمة الكلية للكميات المتداولة، تستخدم الفلزات منفردة، فهذه الفلزات تختلف كثيرا فى أسعارها حسب صعوبة فصلها. وهناك أربعة مجالات رئيسية لاستخدام هذه الفلزات مجتمعة أو منفردة، هى:

١- عوامل مساعدة فى تحضير أنواع خاصة من الوقود السائل من البترول (حوالى ٣٥٪ من الاستخدامات).

٢- صناعات السبائك الحديدية الخاصة وإنتاج حجر الولاعات (حوالى ٣٠٪ من الاستخدامات).

٣- صناعات الزجاج والسيراميك لإنتاج نوعيات ذات مواصفات خاصة (٣٠٪).

٤- الصناعات الإلكترونية وإنتاج المغناطيسات الدائمة وصناعة شاشات العرض الملونة.

وقد وصل إنتاج خامات العناصر الأرضية النادرة إلى ٧٠٩٧٠ طن في عام ١٩٨٤ ولكنه انخفض إلى ٣٦٣٩٠ في عام ١٩٨٦ ثم عاد إلى الزيادة إلى ٤٢٩٥٠ طن في عام ١٩٨٧، أما إنتاج كل فلز على حدة فهو غير معروف وصعب الحصول عليه لأن فصل هذه الفلزات عن بعضها لازال يعتبر من الأسرار التكنولوجية للشركات الكبيرة، ويقدر الاحتياطي العالمي من هذه الفلزات في ١٩٨٧ بحوالي ٤٥ مليون طن من الأكاسيد، حيث أن حساب هذه الفلزات في الإنتاج والاستهلاك يحسب دائما على هيئة أكسيد الفلز بالوزن. وتعتبر الصين وأمريكا أكثر الدول إنتاجا لمركزات الباستنازيت، واستراليا أكثر الدول إنتاجا للمونازيت، وتمتلك مصر احتياطا كبيرا من المونازيت في رمالها السوداء، ولكنه غير مستغل حاليا.

ثانيا: معادن بعض الفلزات النادرة

١- معادن القصدير

القصدير من أوائل الفلزات التي استخدمها الإنسان، فهو مع النحاس يكون البرونز الذي بدأ الإنسان في استخدامه قبل ٤٠٠٠ سنة مضت. ويحتل

القصدير الموقع الخمسين فى الجدول الدورى للعناصر ويبلغ وزنه النوعى حوالى ٧,٣ ودرجة انصهاره ٢٣٢ درجة مئوية. ويتميز القصدير المنصهر بسيولة عالية جدا وقدرة على الالتصاق بالفلزات الأخرى مما يجعله مادة لحام جيدة. ومتوسط شيوعه فى الصخور الجرانيتية حوالى ٤٥ جزء فى المليون وفى التربة حوالى ١٠ جزء فى المليون.

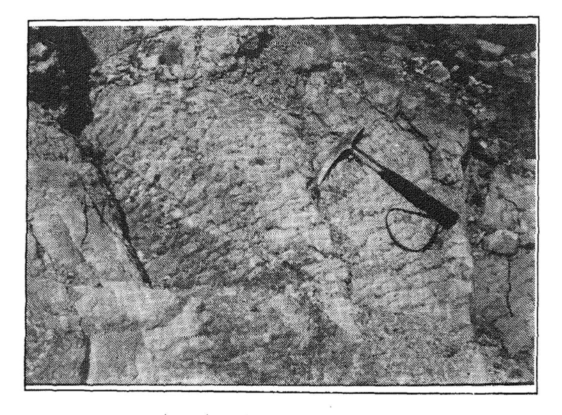
وأكثر استخدامات القصدير فى طلاء الأوعية الفلزية لحفظ المأكولات والمشروبات لسهولة استخدامه لهذا الغرض ولأنه ليس ساما وليس له أضرار صحية على الإنسان، ولهذا السبب أيضا فإنه يستخدم فى بعض الكيماويات المستخدمة فى المبيدات الحشرية ومبيدات الآفات الزراعية، كما يستخدم فى السبائك المقاومة للصدمات والتى تدخل فى صناعة معدات هبوط الطائرات وفى بعض أجزاء السيارات، وفى إنتاج سبائك البرونز. كذلك تستخدم مركبات القصدير فى الصناعات الكيميائية مثل الأصباغ والروائح العطرية ومعاجين الأسنان وغيرها.

والمعدن الركازى الوحيد المستخدم حاليا لإنتاج القصدير هو الكاسيتيريت cassiterite SnO_2 وهو معدن نصف شفاف ذو بريق نصف فلزى أو ماسى ولون بنى أو بنى محمر أو أسود، ونادرا أصفر أو شفاف، ولكن مخدشه أبيض، ولصلادته العالية التى تتراوح من ٦ إلى ٧ فإن بعض نوعياته تعتبر من الأحجار الكريمة. والكاسيتيريت من المعادن الشديدة المقاومة للتحلل الكيميائى، ولذلك لا يتأثر بالأكسدة الجوية، ويمكن نقله إلى مسافات بعيدة بواسطة الأنهار وإعادة ترسيبه فى أماكن بعيدة عن مصدره الرئيسى. ويوجد الكاسيتيريت كمعدن إضافى شائع جدا فى الصخور النارية، خاصة الصخور الجرانيتية.

وتشمل ركازات القصدير، أو تركيزات الكاسيتيريت، نوعين فقط هما التركيزات فى الصخور النارية على هيئة عروق أو حبيبات منبثة، وركازات الرواقد. وأهم مناطق تواجد النوع الأول فى جبال الأنديز فى بوليفيا وفى البرازيل وفى كورنوال بانجلترا، وهذا النوع يتكون فى المراحل الأخيرة لتبلور الصهارات الجرانيتية. أما النوع الثانى فهو يتكون نتيجة تفتت الصخور النارية وتحرر معادنها الإضافية الثقيلة ومنها الكاسيتريت ثم انتقال هذه المعادن بواسطة مياه الأنهار إلى مصباتها حيث يعاد ترسيب هذه المعادن الإضافية الثقيلة بتركيز أعلى بكثير من تركيزها فى صخورها الأصلية، وتسمى هذه العملية بالتركيز الميكانيكى وتسمى الرواسب الناشئة منها بالرواقد والأماكن التى تتكون فيها بالمراقد. وتعتبر الرمال السوداء من أفضل الأمثلة على تكون الرواقد. وتوجد فى مصر منطقتين مشهورتين لرواسب الكاسيتيريت فى الصحراء الشرقية هما المويلحة (شكل ٩-١) والعجلة.

٢- معادن الكادميوم

يمكن اعتبار الكادميوم سلاح ذو حدين، فهو من الفلزات ذات الأهمية الصناعية الفائقة وفى نفس الوقت من الفلزات التى لها تأثيرات سامة جدا إذا زاد انتشارها عن حد معين فى البيئة، ودخول الكادميوم فى كثير من الصناعات والمنتجات الفلزية وفى الاستخدامات اليومية الشائعة ولو بنسب ضئيلة يفتح الباب على مصراعيه لانتشاره الواسع فى البيئة، ولذلك تتزايد القيود على استخداماته أو استخدام المصنوعات التى يدخل فى تركيبها. وتنبع أهمية الكادميوم فى الصناعة من شدة مقاومته للتآكل وقابليته لتكوين سبائك



شكل ٩ - ١ : خام القصدير بمنجم المويلحة بالصحراء الشرقية بمصر

ذات خصائص متعددة. ومن أكثر الصناعات استخداما للكادميوم هى صناعة بطاريات النيكل-كادميوم التى شاعت فى الأجهزة الكهربائية والإلكترونية، وقد قدر أن حوالى ٣٦٪ من استهلاك الكادميوم فى عام ١٩٨٧ (حوالى ٣٧٠٠ طن) كان فى البطاريات. تأتى بعد ذلك استخدامات الكادميوم فى طلاء الفلزات (حوالى ٣٠-٢٥٪) وفى الأصباغ (حوالى ٢٥٪) وفى السبائك (حوالى ٥٪) وفى المفاعلات النووية (حوالى ٥٪) حيث تستغل مقدرة الكادميوم الفائقة على امتصاص النيوترونات فى تصنيع قضبان التحكم وقضبان الأمان.

والكادميوم فلز ذو لون فضى قابل للطرق ويتأكسد بسهولة فى الهواء حيث يكتسى بطبقة رقيقة من الأكسيد ذى المقاومة العالية للتآكل. ويعتبر الكادميوم من الفلزات النادرة ومتوسط شيوعه فى القشرة الأرضية يتراوح من ٠,١٣ الى ٠,٢٠ جزء فى المليون، ويزيد تركيزه العادى فى بعض الصخور مثل الطفال (١,٣ جزء فى المليون) وخامات الفوسفات (٢٥ جزء فى المليون)وفى عقد المنجنيز البحرية (٨ جزء فى المليون)، وتعتبر هذه العقد من أهم مصادر الكادميوم المستقبلية.

ولا توجد للكادميوم خامات مستقلة، ولكنه يأتى إنتاجه كلية تقريبا كناتج ثانوى من ركازات الزنك، حيث يتواجد بنسب ضئيلة فى معادن الزنك مثل السفاليريت، أو يوجد على هيئة معدن كبريتيدى يسمى جرينوكيت greenockite CdS فى هذه الركازات، وتتراوح نسبة الكادميوم فى معظم ركازات الزنك ما بين ٠,٠٢ إلى ١,٤٪، وتصل فى بعض الحالات إلى ٥٪. ويحتوى الجرينوكيت على ٧٧,٨٪ كادميوم ويتميز بألوان برتقالية إلى صفراء ومخدش أصفر برتقالى إلى أحمر طوبى وصلادة متوسطة.

ويرتبط إنتاج الكادميوم بإنتاج الزنك ويعتمد عليه، فلا يمكن التحكم في إنتاج الكادميوم مباشرة. وقد بلغ إنتاج الكادميوم في عام ١٩٧٩ حوالى ١٤,٥٨٠ طن جاءت أساسا من اليابان (٢٣٧٥) وأمريكا (٢١٨٠) وكندا (١٥٨٠) وبلجيكا (١٢٩٠) وألمانيا الشرقية (١١٢٥) واستراليا (٨٩٠) والمكسيك وبيرو (٨٣٠). أما الاستهلاك العالمي فقد وصل إلى ١٥,٩٢٠ طن في نفس العام، وجاء العجز في الإنتاج من المخزون السابق. وفي أوائل ١٩٨٨ وصل سعر الكادميوم إلى ٩ دولار للرطل.

٣- معادن الزئبق

الزئبق هو الفلز الوحيد الذى يتواجد طبيعيا في الحالة السائلة، بالإضافة إلى معادنه الأخرى، فقد يتواجد على هيئة قطرات دقيقة في ركازاته مع المعادن الأخرى، وفي هذه الحالة يتم استخلاصه بتسخين الخامة في معوجات خاصة لتبخيره ثم إعادة تكثيفه في صورة نقية. وللزئبق بعض الصفات الخاصة التي تجعله مطلوبا دون غيره في بعض الاستخدامات، أهمها كثافته العالية جدا كسائل، وتوتره السطحي العالي جدا الذى يمنعه من الالتصاق بالمواد الأخرى (البلل)، ومعامل تمدده الحرارى الثابت، وجودة توصيله للكهربية الفائقة، وهذا يجعلة المادة المثالية في كثير من الأغراض التي لا يوجد لها بديل مثل الترمومترات وأجهزة قياس الضغط وغيرها من أجهزة القياس، وفي بعض الأجهزة الكهربائية وأجهزة التحكم والبطاريات. كذلك تتميز مركبات الزئبق بشدة سميتها ولذلك تستخدم في المبيدات الحشرية وفي مقاومة الآفات الزراعية وفي بعض الصناعات الكيميائية والصيدلية. ولأن كل هذه الاستخدامات لا تحتاج كميات كبيرة من الزئبق فإن معدل

إنتاجه فى أواخر الثمانينات لم يزد عن ٦٠٠٠ طن سنويا تقريبا، بعد أن تناقص من حده الأقصى الذى بلغ حوالى ١٠ آلاف طن فى عام ١٩٦٩، والسبب فى ذلك هو اكتشاف مدى سمية الزئبق ومركباته وأثرها الضار على البيئة مما حدى بكثير من الدول إلى الحد من استخداماته والبحث عن بديل لمركباته.

والمعدن الركازى الأساسى للزئبق هو السنابار cinnabar HgS ويحتوى على حوالى ٨٢٪ من وزنه زئبق ويتميز بلونه الأحمر أو الأحمر البنى. وتوجد أشهر مناطق تواجد ركازات الزئبق فى أسبانيا والجزائر والاتحاد السوفييتى السابق وأمريكا، ويتراوح تركيز الزئبق فى هذه الركازات من ٠,٣ إلى ٣٪، ويوجد فيها الزئبق على هيئة سنابار أو على صورته الفلزية السائلة.

٤- معادن الزيركونيوم والهافنيوم

عرف الزيركونيوم كعنصر فى عام ١٧٨٩ وتم فصله لأول مرة فى عام ١٨٢٤، ولم يدخل مرحلة الاستخدام الصناعى إلا فى عام ١٩٢٥ عندما أمكن فصله فى صورة نقية. والاستخدام الأول لهذا الفلز كان فى صناعة بعض السبائك مع الألومنيوم والمنجنيز والسيليكون وغيرها مثل السبيكة المصنوعة من النيكل والزيركونيوم والتى تتميز بمقاومة الأحماض والصلادة العالية جدا وتصلح لصناعة آلات القطع السريعة، كما يدخل الزيركزنيوم فى إنتاج سبيكة الصلب الزيركونى zirconium steel التى تستخدم فى صناعة المدرعات الخفيفة، أو فى إنتاج الفيروزيركونيوم لتنقية خامات الصلب من الأكسجين والنيتروجين، ولكن أكثر استخدام الزيركونيوم حاليا هو فى تصنيع

أغلفة وقود المفاعلات النووية. أما أكسيد الزيركونيوم (الزيركونيا zirconia) فيستخدم في الحراريات حيث تتميز حراريات الزيركونيوم بتحملها لدرجات الحرارة العالية جدا التي تصل إلى ٢٣٠٠ درجة مئوية وصغر معامل تمددها مما يجعلها تتحمل التغيرات الكبيرة في درجات الحرارة، كما أنها عازل جيد للحرارة والكهرباء. ويوجد الهافنيوم مع الزيركونيوم دائما في معادنه بنسبة ١,٥ إلى ٢,٥٪ وذلك لتقاربهما إلى حد كبير في صفاتهما الكيميائية وفي حجم أيوناتهما، ولذلك يصعب الفصل بينهما في عمليات الاستخلاص، وهي عملية ليست ضرورية في أغراض استخدامات الزيركونيوم حيث لا يؤثر وجود الهافنيوم على خواص المواد التي يدخل في تركيبها إلا في حالة تصنيع أغلفة المفاعلات النووية، فمعدل اقتناص الزيركونيوم للنيوترونات قليل جدا بعكس الهافنيوم الشره في اقتناص النيوترونات، ولذلك يجب تخليص الزيركونيوم الذي يدخل في صناعة أغلفة الوقود النووي من الهافنيوم، ولكن من ناحية أخرى يصلح الهافنيوم لصناعة قضبان التحكم للمفاعلات النووية، وهذا هو استخدامه الوحيد تقريبا في الوقت الحالي. بالإضافة إلى ذلك فإن أكسيد الهافنيوم يفضل على أكسيد الزيركونيوم في الحراريات التي تستخدم فوق ٣٠٠٠ درجة مئوية لأنه أكثر خمولا من الناحية الكيميائية.

ويوجد الزيركونيوم في عدد كبير من المعادن التي تكون الصخور بنسب ضئيله، ولكن الزيركون هو المعدن الوحيد تقريبا الذي يمد العالم باحتياجه من هذا الفلز. والزيركون هو سليكات الزيركونيوم، ويوجد بكثرة كمعدن إضافي في الصخور الجرانيتية بنسب لا تسمح باستخلاصه من هذه الصخور بصورة اقتصادية، ولكن لأنه من المعادن الثقيلة والمقاومة لعوامل التعرية، فإنه يتركز بصفة خاصة في رمال الشواطيء وفي بعض مجاري

الأنهار الكبيرة، وهذه هي المصادر الرئيسية لهذا المعدن، مثل رواسب الرمال السوداء في مصر والبرازيل والهند واستراليا. والزيركون من المعادن المشعة التي تحتوى على نسب بسيطة من اليورانيوم والثوريوم، وعادة ما يصاحبه في هذه الرمال معدن المونازيت الأشد منه إشعاعيا لاحتوائه على نسبة عالية من الثوريوم، ولذلك يعتبر استخلاص هذين المعدنين من الرمال الشاطئية من باب تنقية البيئة من الأضرار الإشعاعية الطبيعية، بالإضافة إلى العائد الاقتصادى من استخدام المعدنين صناعيا. وعادة ما يوجد الزيركون في هذه الرمال بنسب ضئيلة لا تزيد على ١٪، ولذلك يستلزم الحصول عليه بكميات كبيرة معالجة كميات ضخمة من الرمال الشاطئية قد تصل إلى آلاف الأمتار المكعبة في الساعة. ويعتبر الزيركون من الأحجار الكريمة عندما يوجد في صورة نقية وألوان جميلة، وتتراوح ألوانه غالبا بين الأصفر والبني والأحمر بالإضافة إلى النوعيات العديمة اللون. ونتيجة إشعاعيته فإنه قد يتعرض إلى تدمير بنائه الذرى الداخلي ويتحول إلى مادة أرضية ترابية قاتمة تتحلل بفعل عوامل التعرية بسهولة. وقد بلغ الإنتاج العالمي من الزيركون المستخرج من الرمال الشاطئية حوالي ٨٠٠ طن في عام ١٩٨٧. أما الهافنيوم فليس له معادن خاصة به، ويتم الحصول عليه من خلال تنقية الزيركونيوم في الصناعات النووية، وقد بلغ إنتاجه العالمي حوالي ٨٠ طن في العام خلال أواخر الثمانينات، وبالإضافة إلى استخداماته النووية، فإنه يستخدم أيضا في بعض الحراريات والسيراميك والسبائك وآلات القطع، ولكن بدرجة أقل كثيرا.

٥- معادن النيوبيوم والتنتالوم

النيوبيوم والتنتالوم فلزان مصاحبان لبعضهما أيضا، ولكن عادة ما يسود أحدهما عن الآخر في معادنهما. ومتوسط شيوع النيوبيوم في القشرة الأرضية حوالي ٢٠ جزء في المليون، أما بالنسبة للتنتالوم فهو ٢ جزء في المليون. ويستخدم الفلزان في أربعة مجالات أساسية وهي الصناعات الإلكترونية وفي آلات القطع المصنوعة من الكربيد وفي الصناعات الكيميائية وفي بعض السبائك الحديدية وغير الحديدية وقد بلغ الإنتاج العالمي للنيوبيوم الفلزي حوالي ١٤٠٠٠ طن في عام ١٩٨٧ والإنتاج العالمي من التنتالوم الفلزي حوالي ١٠٠٠ طن سنويا في أواخر الثمانينات.

ويوجد الفلزان في كثير من المعادن التي تكون الصخور بنسب ضئيلة جدا لا تسمح باستخلاصهما اقتصاديا، وتنحصر معادنهما الركازية في نوعيتين من أكاسيدهما مع بعض الفلزات الأخرى. ففي النوعية الأولى يسمى المعدن كولومبيت columbite إذا احتوى على النيوبيوم بنسبة أكثر من التنتالوم، ويسمى تانتاليت tantalite إذا حدث العكس، وفي النوعية الثانية يسمى المعدن بيروكلور pyrochlore إذا احتوى على النيوبيوم بنسبة أكبر من التنتالوم، ويسمى المعدن ميكروليت microlite إذا حدث العكس. وتوجد ركازات هذه المعادن في بعض نوعيات الصخور النارية ويمكن استخلاصها من هذه الركازات، ولكن بتكلفة عالية إلى حد كبير، ولذلك فإن ربحيتها ليست مغرية، ولكن تتميز هذه المعادن، مثل الزيركون، بأنها ثقيلة ومقاومة، فهي تتركز في رواسب المراقد كما يحدث في بعض الأنهار الكبيرة، ولكن لأن هذه المعادن ليست شائعة كمعادن إضافية مثل الزيركون، فإن شيوعها في المراقد أيضا قليل. وأكثر الدول إنتاجا لهذه المعادن هي البرازيل وكندا واستراليا ونيجيريا، كذلك يتم الحصول على هذه المعادن كناتج ثانوي من

ركازات التصدير. وتوجد في مصر عدة مناطق لتواجد معادن النيوبيوم والتنتالوم في الصحراء الشرقية أهمها منطقتي أبو دبـاب التي تقع في وسط الصحراء الشرقية وفي منطقة نجرس التي تقع حوالي ٧٠ كم جنوب غرب مرسى علم.

٦- مصادر الراديوم

يصنف الراديوم كيميائيا على أنه من مجموعة الفلزات القلوية الأرضية alkaline earth metals، وبالرغم من أنه ليس وقودا نوويا وليس له أي استخدام في صناعة الوقود النووي، إلا أنه يرتبط باليورانيوم ارتباطا تاريخيا وطبيعيا؛ فقبل نهاية القرن الماضي كانت أملاح اليورانيوم تستخدم في صناعات الزجاج لإكسابه ألوانا زاهية وفي بعض الاستخدامات البسيطة الأخرى، ولم تكن له ولا لخاماته أهمية تذكر. وفي عام ١٨٩٦ اكتشف العالم الفرنسي هنري بكريل Henry Bequerel ظاهرة النشاط الإشعاعي لخامات اليورانيوم، وبعد ذلك بعامين اكتشف بيير و ماري كوري Pierre and Marie Curie الراديوم في خامات اليورانيوم المستخرجة من منجم يواخمستال Joachimstahl في تشيكوسلوفاكيا، وتبين أنه ذو نشاط إشعاعي قوي لأشعة جاما، فزاد الطلب على خامات اليورانيوم من أجل الراديوم كمصدر قوي لأشعة جاما، وقد ظل الحال على ذلك حتى نهاية الحرب العالمية الثانية وبزوغ نجم اليورانيوم كوقود نووي.

ويوجد الراديوم مصاحبا لليورانيوم في خاماته بنسب قليلة جدا، فقد قدر أنه في عام ١٩٣٨ كان الطلب العالمي على الراديوم حوالي ١٠٠ جرام تم الحصول عليها من ٤٥٠ طن من خامات اليورانيوم. وكانت مصادر

خامات اليورانيوم أساسا فى تشيكوسلوفاكيا وفى الكنغو البلجيكى (زائير حاليا) حتى نهاية الثلاثينات عندما توالت اكتشافات خامات اليورانيوم فى مناطق أخرى كثيرة فى انجلترا وكندا وأمريكا وجنوب أفريقيا واستراليا. وارتباط الراديوم بخامات اليورانيوم سببه أن الراديوم أحد الفلزات فى سلسلة التحلل الإشعاعى لليورانيوم. ويستخدم الراديوم كمصدر قوى لأشعة جاما فى الأغراض الطبية وخاصة فى العلاج الإشعاعى للسرطان.

٧- معادن البريليوم

يشغل البريليوم الموقع الرابع فى الجدول الدورى للعناصر ويصنف على أنه من مجموعة الفلزات القلوية الأرضية أيضا، وهو من أخف الفلزات إذ يبلغ وزنه النوعى ١,٨٥ ولكنه يكسب السبائك التى يدخل فيها صفات خاصة أهما قدر كبير من الشدة فى الخصائص الميكانيكية والمقاومة الشديدة للتآكل، ومتوسط شيوعه فى القشرة الأرضية حوالى ٢-٣,٥ جزء فى المليون، ولتشابه أيونه مع أيون السيليكون فإنه يحل محله بنسب ضئيلة جدا فى عدد كبير من المعادن السليكاتية، وبالرغم من هذا فهو يكون بعض المعادن التى تعتبر معادن ركازية له يمكن استخلاصه منها بصورة اقتصادية. وأهم هذه المعادن هو البريل beryl فى المقام الأول، والذى يعتبر المصدر الأول للفلز، ويليه الكريسوبريل والبرتراندیت. والزمرد والألكساندريت، وهما من أغلى الأحجار الكريمة، نوعيات من البريل والكريسوبريل. وتوجد بلورات البريل على هيئة منشورية ذات تخطيط واضح على الأجه، وأحيانا ذات نهايات هرمية، وقد تصل إلى أحجام ضخمة جدا؛ فقد وجدت بلورة بولاية مين الأمريكية كان طولها ٩ أمتار ووزنها ٢٥

طنا. وتبلغ صلادة البريل ما بين ٧,٥ و ٨ ووزنه النوعي ٢,٧٥-٢,٨، وله انفصام قاعدي غير كامل وبريقه زجاجي ولونه إما أبيض أو يتراوح ما بين الأخضر والأزرق والأصفر والرمادي والذهبي.

وتتزايد استخدامات البريليوم في مجالات الصناعات المدنية والصناعات النووية تزايدا مطردا؛ ففي الصناعات المدنية يدخل هذا الفلز (البريليوم) في صناعة الأجهزة الملاحية للطائرات ومركبات الفضاء كما يدخل في الإلكترونيات والسبائك عالية التحمل للحرارة، ومن أهمها برونز البريليوم التي تتكون منه مع النحاس، ولكن لاكتشاف بعض الآثار الضارة للبريليوم على صحة الإنسان سيحد بلا شك من استخدام تلك السبيكة. أما في الصناعات النووية فيدخل البريليوم في صناعة المهدئات والعواكس النيوترونية كما يستخدم في تغليف الوقود النووي، وخاصة عندما يكون من اليورانيوم الطبيعي أو اليورانيوم المخصب بنسبة منخفضة، بالإضافة إلى استخدامه كمصدر للنيوترونات في المفاعلات النووية. ومن إنتاج البريليوم عام ١٩٨٧ استخدم ٥٣٪ في سبيكة البريليوم مع النحاس، و ٤٠٪ في الصورة الفلزية و٧٪ في صورة أكسيد البريليوم (البريليا).

وتوجد معادن البريليوم بنسب ضئيلة في بعض الصخور الجرانيتية والمتحولة وهي لا تصلح بالطبع لاستخراج هذه المعادن بصورة اقتصادية. أما ركازات البريليوم فهي نادرة الوجود إلى حد ما وتوجد في عروق البجماتيت أو الكوارتز التي تقطع الجرانيت أو الصخور المتحولة، وأهم مناطق تواجدها في كندا واستراليا وأمريكا والبرازيل والهند والصين، ولكنها غالبا ما تكون صغيرة الحجم. كذلك توجد بعض ركازات البرترانديت في في يوتا بأمريكا، وهي الدولة الوحيدة التي تنتج البريليوم من البرترانديت، وقد تكونت هذه الركازات في تكاوين من التراب البركاني بفعل المحاليل

الجرمانية الممعدنة. ومن أشهر رواسب البريل فى العالم ما يوجد فى مناطق نجرس وسكيت وأم كابو وزبارا بالصحراء الشرقية المصرية، وقد كانت هذه الرواسب مصادر للزمرد منذ العصور الفرعونية. كذلك يوجد البريل فى عروق من البجماتيت قاطعة للجرانيت فى مناطق حمرة مكيد وحمرة عكارم والعجلة بالصحراء الشرقية أيضا. وقد اكتشف البريل والزمرد أخيرا فى سيناء فى ديسمبر ١٩٩٢ (شكل ٩-٢، ٣، ٤).

وقد بلغ الاحتياطى العالمى للبريليوم فى عام ١٩٨٧ حوالى ٤٢٥ ألف طن من الفلز موزعة كالآتى: ١٥٤ ألف طن فى البرازيل، و ٧١ ألف طن فى الهند، و ٦٧ ألف طن فى الاتحاد السوفييتى السابق، و ٢٥ ألف طن فى أمريكا، والباقى موزعة فى عدة دول أخرى أهمها الأرجنتين. وقد بلغ الإنتاج العالمى فى نفس العام حوالى ٤٠٥ طن موزعة كالآتى: ٢٢٠ طن من أمريكا، ٧٧ طن من الاتحاد السوفييتى السابق، ٥٥ طن من الصين، ٤٥ طن من البرازيل، و٨ طن من دول أخرى. وفى عام ١٩٩٢ تراوح سعر طن خام البريليوم الذى يحتوى على ١٠٪ بريليا ما بين ٧٥ إلى ٨٥ دولار.

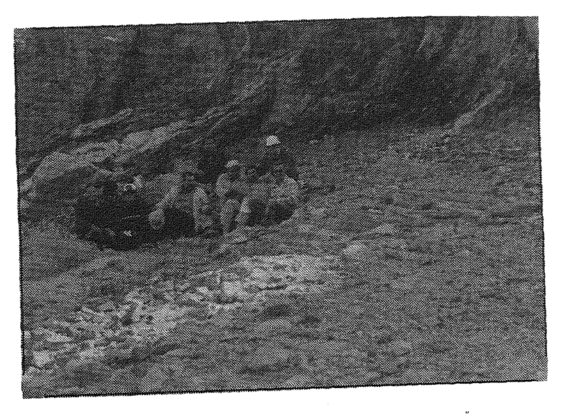
ثالثا: الفلزات الأخرى

وبالإضافة إلى ما ذكر، ولاستكمال جولتنا فى أجنحة الفلزات من مملكة المعادن، فلا بد لنا أن نعلم أن هناك فلزات أخرى تعتبر من العناصر النادرة ذات الاستخدام المحدود جدا أو ليس لها استخدام حتى الآن، وهذه لن نتعرض لها حيث لا يوجد لها معادن مستقلة ولكنها تنتج كنواتج جانبية من ركازات الفلزات الأخرى، ومن المتوقع أن يجد التقدم التكنولوجى استخدامات

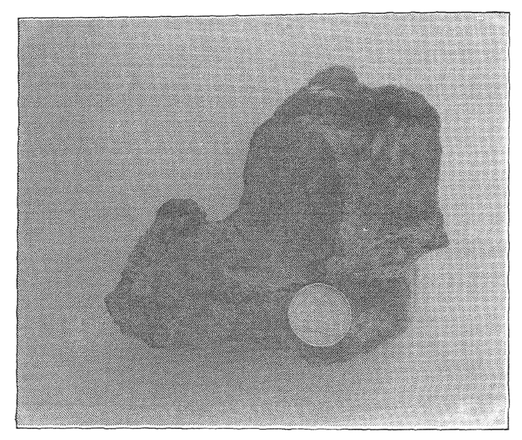
مستقبلية لهذه الفلزات، ربما لكى يمعن الإنسان فى تدمير بيئته ويعجل بنهايته.

أشباه الفلزات

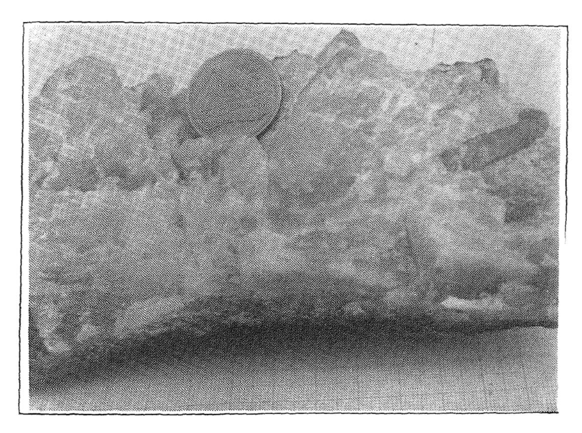
وهى خمسة عناصر لها خصائص على الحد الفاصل بين الفلزات واللافلزات، وأهمها والزرنيخ والأنتيمون والبزموت، واستخداماتها محدودة إلى حد كبير فى بعض الكيماويات والمبيدات والاستخدامات الطبية والصيدلية. وتوجد فى عدة معادن كبريتيدية ذات انتشار محدود، كما أن الزرنيخ والبزموت يوجدان كعناصر طليقة ولذا يعتبران من المعادن.



شكل ٩-٢: موقع اكتشاف الزمرد فى سيناء بمصر.



شكل ٩ – ٣ : عينة من الزمرد المكتشف فى سيناء بمصر



شكل ٩ – ٤ : بلورات الزمرد من سيناء بمصر

استراحة قصيرة

إلى هنا عزيزى القارىء نكون قد أنهينا نصف جولتنا فى مملكة المعادن، ولقد كانت جولة سريعة رأينا فيهاالكثير، ولذلك أستسمحك فى استراحة قصيرة نلتقط فيها الأنفاس استعدادا لنصف جولتنا الثانى، ولا شك أن هذه الجولة قد أقنعتك عزيزى القارىء بأهمية الفلزات فى حياة الإنسان، فمنذ فجر التاريخ وضع الإنسان يده على الفلزات واحدا تلو الآخر، وما يكاد يكتشف فلزا جديدا حتى يجد له استخداما ويضع بذلك لبنة جديدة فى صرح حضارته وتقدمه ورفاهيته، وفى نفس الوقت يضع مسمارا جديدا فى نعشه نتيجة التلوث البيئى الناشىء عن استخدامه لهذه الفلزات. وفى خضم استعراضنا للفلزات واستخداماتها، تظهر لنا بوضوح أهميتها الفائقة، وقد ينسينا ذلك بعض الشىء أهمية المعادن، التى هى مصدر الفلزات، لذلك وجب التنويه هنا فى ختام جولتنا الفلزية إلى هذه الحقيقة الراسخة أن المعادن أولا ثم الفلزات ثانيا فى الأهمية، وهذه الحقيقة ستبدو أكثر وضوحا فى الفصول القادمة عند استعراض الاستخدامات غير الفلزية للمعادن.



الفصل العاشر

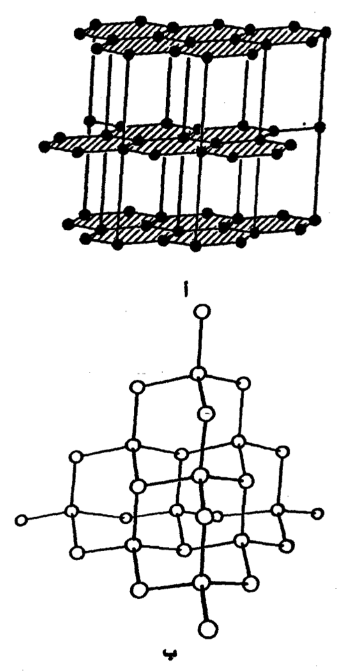
المعادن العنصرية اللافلزية

يعرض هذا الفصل بعض العناصر اللافلزيـة التى توجد فـى الطبيعـة وتحقق شروط تعريف المعدن وهى لذلك تعتبر معادن لافلزية وهى فى نفـس الوقت عناصر لافلزية، وتشمل هذه المعادن الماس والجرافيت والكبريت.

١- الماس diamond والجرافيت graphite

نقيضان من أصل واحد

الكربون عنصر لافلزى شائع وغنى عن التعريف؛ فهو الفحم بأنواعـه سواء الفحم الحجرى أو الفحم النبـاتى، كذلـك فهـو العنصـر الأساسـى فـى أى مادة حية، فهو مع الإيدروجين يكونان الأساس لكل مادة الأحياء سواء النباتيـة أو الحيوانية، وعلى هذه الحالات لا يعتبر الكربون معدنا، لأنه متكون بوسائل عضويـة، وقد أخرجنـا مـن مملكـة المعـادن كـل مـا ينشـأ بواسـطة العمليـات العضويـة. ولكـن الكربـون أيضـا يوجـد فـى الطبيعـة علـى هيئتيـن بواسـطة العمليات غير العضوية، وهاتين الهيئتين تحققـان كـل شـروط المعـدن، ولذلـك نعتبر هاتين الهيئتين معدنين مختلفيـن ولكـن تركيبهمـا الكيميـائى واحـد وهـو الكربون، وهذين المعدنين هما الماس والجرافيت، وهما أوضح الأمثلـة علـى ظاهرة التعدد الشكلى polymorphism؛ فالمـاس هـو أكثر المعـادن صـلادة والجرافيت من أقل المعادن صلادة، علاوة على الخصائص الأخرى، والسبب الرئيسى لهذا الاختلاف فى الخصائص هو طريقة البناء الذرى، بمعنـى كيفيـة تشابك ذرات الكربون فى المعدنين (شكل ١٠-١).

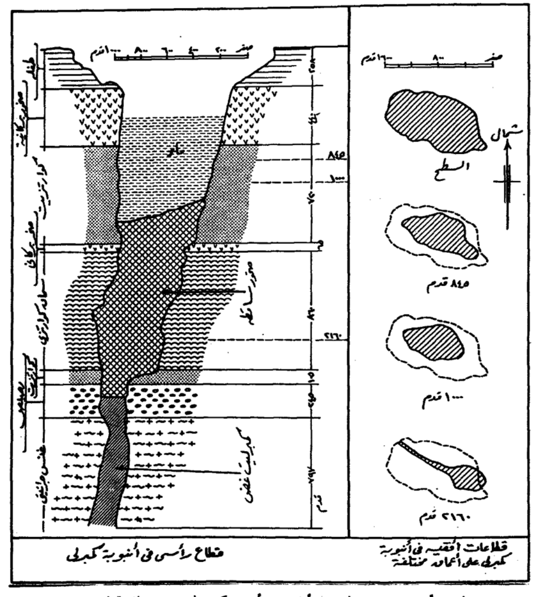


شكل ١٠-١: البناء الذرى لكل من الجرافيت (أ) والماس (ب)

الماس diamond:

يتكون الماس من كربون خالص تماما، وليس به أية شوائب، وهو خامل كيميائيا ولا يتأثر بالأحماض، ولكنه بالتسخين إلى درجات حرارة عالية جدا في جو من الأكسجين يتحول إلى ثاني أكسيد الكربون دون أن يترك أي رماد. ويبلغ وزنه النوعي حوالي ٣,٥، وهو أكثر المواد المعروفة صلادة ولذلك أُعطِيَ رقم ١٠ في مقياس موز للصلادة، ولكن في الواقع الفرق بين الماس وما قبله وهو الكورندم (٩) على مقياس موز يعادل ثلاثة أضعاف الفرق بين الكورندم والتلك أو الجرافيت (١)، أي لو وضعت المعادن على مقياس مطلق للصلادة وكانت صلادة الكورندم، ٩ فإن صلادة الماس تكون ٣٦، ولهذا يفوق الماس كل المواد المعروفة في الصلادة. ويتبلور الماس في نظام المكعب، ولكنه نادرا ما يوجد على هيئة مكعب، وأكثر بلوراته شيوعا هي بلورات على شكل هرم رباعي مزدوج (ذات ثمانية أوجه) أو على هيئة بلورات ذات أوجه عديدة، وغالبا ما تكون هذه الأوجه محدبة إلى الخارج وذات حفر. ويتميز الماس النقي بشفافيته الشديدة ويتراوح من عديم اللون إلى المصفر أو الرصاصي أو الأزرق وهو أكثر نوعياته تقديرا كحجر كريم، كما يتميز الماس بمعامل انكسار كبير جدا (٢,٤٢) وشدة تشتته للألوان وهذا هو السبب في الانعكاسات الضوئية التي يبديها وتجعل منه حجرا كريما. وتطلق أسماء خاصة على الماس رديء النوع غير النقي والذي يستخدم عادة في الصناعة؛ فهناك البورت bort وهو الماس دقيق الحبيبات والذي يحتوي على كثير من الشوائب، وهناك الكاربونادو carbonado وهو الماس ذو اللون الرصاصي أو الأسود تقريبا بسبب وجود شوائب من حبيبات دقيقة من الكربون، ويعتقد أن هذه النوعية في طريقها إلى التحول إلى جرافيت.

ويوجد الماس فى نوع نادر من الصخور النارية تعرف باسم الكمبرليت kimberlite نسبة إلى مدينة كمبرلى فى جنوب أفريقيا حيث وصف هذا الصخر لأول مرة، وهذا هو النوع الوحيد لرواسب الماس الأولية، كما يوجد أيضا فى رواسب الوديان من الرمال والحصى المتكور من تفتت صخور الكمبرليت، حيث أن الماس يقاوم التحلل الكيميائى ولا يتأثر بعوامل التجوية الكيميائية. ويتواجد الكمبرليت على هيئة أجسام تعرف باسم أنابيب الكمبرليت، وهذه الأنابيب تأخذ شكلا مخروطيا قاعدته إلى أعلا ويتراوح قطرها بين ٣٠ متر إلى ١٥٠٠ متر، وكلما تعمقنا فى هذه الأنابيب نجد أنها تميل إلى الاستطالة فى اتجاه واحد حتى تصبح على هيئة قواطع فى الأعماق الكبيرة (شكل ١٠-٢). وتمتلىء هذه الأنابيب بصخر الكمبرليت وهو من أنواع الصخور فوق المافية ويتكون من الأولفين والبيروكسين والجارنت والميكا. ويوجد الماس فى هذا الصخر على هيئة بلورات ذات أحجام متباينة منبثة بنسبة ضئيلة جدا، ولكن لارتفاع قيمة الماس المستخرج منه فإن هذا الصخر يعتبر راسبا معدنيا جيدا ويتم تعدينه فى مناطق كثيرة وأكثر أنابيب الكمبرليت انتشارا فى أفريقيا (جنوب أفريقيا وتنزانيا والكنغو وجنوب بحيرة فكتوريا)، كما توجد أيضا بعض تلك الأنابيب فى درع انجار فى سيبيريا وفى شمال السويد تحت بحر البلطيق وفى اركنساس بالولايات المتحدة الأمريكية وفى البرازيل وفى كندا، ولكن الأنابيب الافريقية هى أكثرها انتشارا واحتواء على الماس. وفى كل هذه المناطق تتواجد أنابيب الكمبرليت متداخلة فى صخور القاعدة القديمة جدا والتى يزيد عمرها عن ٦٠٠ مليون سنة، ولكن الأنابيب تخترق أيضا الغطاء الرسوبى لصخور القاعدة والتى يتراوح عمرها ما بين ٦٠٠ و ٧٠ مليون سنة تقريبا، ولذلك فإن عمر هذه الأنابيب أقل من ٧٠ مليون سنة حيث أن القاطع أحدث من



قطاع رأسى و عدة قطاعات أفقية فى أنبوبة كمبرلى بجنوب إفريقيا.

المقطوع. وفى العادة توجد كل بضعة أنابيب متقاربة مع بعضا على هيئة تجمع، ولكن لاتحتوى كلها على الماس. وتفسر نشأة الماس فى الكمبرليت بأن هذا الصخر قد تكون من صهارة عميقة جدا، حوالى ٣٥ كم أو يزيد، حيث يسود الضغط والحرارة التى تسمح بتحول الكربون إلى ماس على هيئة بلورات منبثة، وبعد ذلك تدفق الصهار بسرعة جدا نتيجة انفجارات بركانية وتصاعد بحركة سريعة جدا أدت إلى تجمده وتبريده بسرعة أيضا بحيث لم تسمح للماس بالتحول الرجعى إلى جرافيت. ولذلك نجد أن الماس الأزرق يوجد قريبا من السطح أما الكربونادو فيوجد على أعماق كبيرة حيث ترتفع درجة الحرارة إلى الحد الذى يسمح بوجود طاقة التنشيط اللازمة للتحول الرجعى إلى جرافيت. ومن المعروف أنه أمكن تصنيع "الماس" بغمس قطع من الكربون فى حديد منصهر وتركه ليتجمد حيث يؤدى ذلك إلى وضع الكربون تحت ضغط شديد جدا نتيجة انكماش الحديد عند تجمده وفى نفس الوقت تحت درجة حرارة عالية قرب درجة انصهار الحديد، ولكنه بالطبع ليس كالماس الطبيعى. ويستخرج الماس من الحديد بعد ذلك بإذابة الحديد فى الأحماض.

وقد عرف الماس منذ حوالى ٨٠٠ سنة قبل الميلاد فى الهند حيث كان إنتاجه محصورا تماما فى بعض مناطقها حتى عام ١٧٢٥ عندما اكتشف فى البرازيل. وفى عام ١٨٦٧ اكتشفت أول ماسة فى جنوب أفريقيا، ويحكى أن أحد المستكشفين وجدها مع طفل يلعب بها وكان وزنها ٢١ قيراطا (القيراط = ٠,٢ جرام)، وعندما عرف هذا الخبر اندفع المستكشفون إلى هذه المنطقة بحثا عن مصادر الماس فيها، وتوالت الاكتشافات أنابيب الماس فى جنوب أفريقيا حتى كان عام ١٨٧١ عندما اكتشفت أنبوبة كمبرلى وأصبحت تلك المنطقة أهم منطقة إنتاجا للماس فى العالم حيث تنتج حوالى

٧٥٪ من الإنتاج العالمي. وحديثا تم اكتشاف أنابيب الكمبرليت في جزيرة سومرست بكندا.

وحتى عام ١٨٦٢ كان الماس يستخدم كحجر كريم للزينة فقط، وكان يهمل الإنتاج الآخر الذى لا يصلح لهذا الغرض، ولكن فى ذلك العام استخدم الماس لترصيع سكاكين الحفر فى الصخور بهدف الحصول على عينات لبية من الأعماق، ومنذ ذلك التاريخ تم التوسع فى استخدام الماس فى آلات القطع ومساحيق الصنفرة ومعاجين التلميع، بحيث أصبح هذا هو الاستخدام الرئيسي للماس، وحيث أن الإنتاج العالمي للماس الطبيعي لا يكفي كل هذه الاستخدامات فقد تم الدخول في مجال إنتاج الماس الصناعي بالإضافة إلى استخدام كل الإنتاج القليل الجودة الذى كان يهمل فيما قبل. ويتم تداول الماس الكريم عالميا عن طريق احتكار يسمى منظمة البيع المركزية CSO وهى التي تتحكم في أسعار وكميات المباع عالميا من الماس الكريم.

ومن أشهر الماسات العالمية ماسة كوهينور التى ترصع التاج البريطاني ووزنها ١٠٦ قيراط، أما أكبر ماسة فهى ماسة كولينان Cullinan، وقد كان وزنها عند اكتشافها ٣١٠٦ قيراط (٦٢١ جرام) وتم قطعها إلى حجرين كبيرين وزنهما ٥٣٠ و ٣١٧ قيراطا و٩٦ فصا صغيرا.

وتختلف نسبة تواجد الماس فى الكمبرليت التى تسمح بالاستغلال الاقتصادى حسب اعتبارات كثيرة أهمها السعر العالمي وتكلفة التعدين، وحاليا تعتبر نسبة عُشر قيراط فى الطن، أى قيراط فى كل ١٠٠ طن نسبة مربحة، وهذه تعنى حوالى ٠,٠٢ جم فى الطن أو ٠,٠٦ جم فى صخرة حجمها متر مكعب! وللمقارنة نجد أن ماسة وزنها قيراط واحد على شكل بلورة ذات شكل هرمي مزدوج يكون طولها من الرأس إلى الرأس حوالى نصف سنتيمتر. وعلى أى حال معظم الماسات الصغيرة حجمها أقل من

ذلك. وقد تمكنت اليابان حديثا من إنتاج ماسات صناعية تصل إلى ١,٢ قيراطا تقريبا، وهذا يعتبر تقدما كبيرا في تصنيع الماس. ويختلف إنتاج المناجم من الماسات الكريمة ما بين حوالي ٢٪ إلى حوالي ٩٥٪. ويتم استخراج الماس من الكمبرليت بعد طحنه وغربلته وكذلك من رواسب الوديان بعد غربلتها، وفي كلتا الحالتين يستبعد الفتات الأكبر من ١,٦ سم والأصغر من ٠,١٦ سم بعد التأكد من خلو الفتات الخشن من ماسات كبيرة، ثم ينقى الماس من الفتات المتبقى يدويا، أو بواسطة بعض الوسائل الميكانيكية التى تستخدم فيها أشعة إكس للكشف عن وجود الماسات وتحديد مواقعها وتسليط تيار من الهواء المضغوط لقذفها إلى أماكن التجميع.

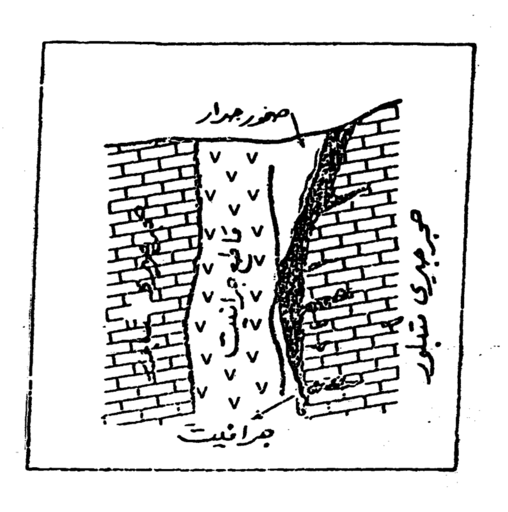
وقد بلغ الإنتاج العالمي من الماس الطبيعي حوالي ٤٧,٣ مليون قيراط (حوالي ٩٤٦٠ كيلوجرام) في عام ١٩٧٨ وحوالي ٤٨ مليون قيراط (٩٦٠٠ كيلوجرام) في عام ١٩٧٩. أما في عام ١٩٨٧ فقد وصل إنتاجه إلى ٩٠,٧ مليون قيراط (١٨,١٤ طن). وقد وصل الاستهلاك العالمي من الماس في الصناعات المختلفة وغيرها إلى حوالي ١٥٠ مليون قيراط بما فيه الماس المصنع، ويتزايد الاستهلاك العالمي بمعدل كبير .

الجرافيت graphite:

عرف الجرافيت منذ بضعة مئات من السنين وكان الظن أنه أحد معادن الرصاص، أو يحتوى على الرصاص، ومن هنا جاءت تسمية الأقلام الرصاص التى يوضع فيها الجرافيت. ولكن في عام ١٧٨٩ عرف أنه كربون نقي وفي ١٨٧٩ سمي جرافيت بمعنى الكتابة في اللغات القديمة.

ويتبلور الجرافيت في فصيلة السداسي، وله انفصام تام مواز للمستوى القاعدى (الأفقي) ولذلك نجد بلوراته مفلطحة إلى حد كبير، ويندر تكون أوجه بلورية أخرى، ولذلك أيضا يوجد على هيئة قشور أو شرائح، ولونه

أسود رصاصى ومخدشه أسود وبريقه فلزى أو أرضى معتم وملمسه شمعى وصلادته ١ ويسهل خدشه بالظفر ولذلك يترك أثرا أسودا على الأصابع وعلى الورق، ولذلك كان أول مادة تستخدم فى صناعة الأقلام الرصاص. وأهم تواجد الجرافيت فى الصخور المتحولة نتيجة التحول الإقليمى حيث توجد أهم وأكبر رواسبه فى صخور الشست والنيس والإردواز، ولكن هناك أيضا بعض رواسب الجرافيت التى تكونت فى ظروف أخرى. وهناك رأيان من حيث مصدر الكربون الذى يعطى الجرافيت فى الصخور المتحولة، الأول أن ذلك الكربون مصدره المواد العضوية التى كانت موجودة أصلا فى الصخور الرسوبية التى تحولت وأثناء تحولها تخلصت المواد العضوية من كل مكوناتها وتبقى الكربون الذى تبلور على هيئة جرافيت، وهناك أمثلة لتحول أجزاء من طبقات فحم حجرى إلى جرافيت. أما الرأى الثانى فيقول أن الجرافيت ينشأ نتيجة لتحلل المعادن الكربوناتية حيث يتبلور محتواها من الكربون على هيئة جرافيت تحت ظروف معينة، وبهذا الرأى يمكن تفسير تواجد الجرافيت فى بعض الصخور التى تكونت فى الأزمنة القديمة التى لم تكن فيها حياة لتكوين مواد عضوية. ويتواجد الجرافيت الناشىء عن عمليات التحول على هيئة حبيبات منبثة فى الصخور المتحولة، أو على هيئة طباقات أو عدسات تتخلل تلك الصخور، أما الجرافيت الناشىء عن العمليات الأخرى، مثل التبلور الصهارى أو الحرمائى، فهو يوجد على هيئة عروق أو كتل فى الصخور المختلفة (شكل ١٠-٣) وعادة ما يكون هناك ارتباط بين تلك الرواسب وبعض التداخلات النارية. وتتواجد أهم رواسب الجرافيت فى العالم فى كوريا وبعض دول أوربا والاتحاد السوفييتى السابق والصين والمكسيك.



شكل ١٠-٣: قطاع رأسي في عرق جرانيت في حجر جيري متبلور في نطاق تماس لقاطع جرانيتي، كويبك بكندا.

والجرافيت من المنتجات المعدنية الصغيرة حيث لا يزيد إنتاجه كثيرا عن ٦٠٠٠٠ طن سنويا، ويستخدم فى قوالب تشكيل الفلزات كطلاء داخلى لها ليمنع التصاق الفلز بالقالب بعد صبه، كما يدخل فى صناعة الحراريات وسوائل التشحيم والبطاريات وأتيال الفرامل وشربونات الموتورات والمولدات الكهربائية وفى صناعة الأقلام الرصاص. ويتميز الجرافيت بمقاومته الشديدة جدا للحرارة وجودة توصيله للكهرباء. ويستخدم الجرافيت أيضا فى بعض أنواع المفاعلات الانشطارية كمهدىء للنيوترونات، كما حدث فى أول مفاعل تجريبى فى العالم. وأكثر الدول إنتاجا للجرافيت هى سريلانكا حيث توجد بها أنقى أنواعه، والصين وكوريا الجنوبية والمكسيك ومدغشقر والنرويج. وهناك صعوبات فى الحصول على تقديرات الإنتاج والاحتياطى العالمى حيث أن كثير من الدول المتحكمة فى ذلك هى دول شيوعية سابقة. ويقدر الإنتاج فى عام ١٩٨٧ بحوالى ٦٢٠٠٠٠ طن، منه حوالى ٦٠٪ من دول شيوعية، كما يقدر الاحتياطى العالمى بحوالى ١٥٠٠ مليون طن.

٢- الكبـــــريت

الكبريت من المعادن العنصرية، أو بمعنى آخر أحد العناصر اللافلزية التى توجد فى الطبيعة على هيئة حرة طليقة ومتبلورة، ولذلك يعتبر من رعايا مملكة المعادن. وقد استخدم المصريون القدماء الكبريت فى تبييض الأقمشة وفى بعض الصناعات الأخرى منذ حوالى ٢٠٠٠ سنة قبل الميلاد، كما استخدمه الصينيون بعد ذلك فى صناعة مسحوق البارود، واستخدمه

الكيميائيون العرب فى إنتاج حامض الكبريتيك الذى أطلقوا عليه اسم زيت الزاج .

ويوجد الكبريت فى ثلاث هيئات بلورية تتبع الأولى نظام المعينى القائم وهى الصورة الغالبة، أما الصورتان الأخرتان فتتبعان نظام أحادى الميل، وهما نادرتان. ويتميز الكبريت النقى بلونه الأصفر الكبريتى، ولكن بعض الشوائب من المواد الأسفلتية أو الطينية تكسبه ألوانا أخرى مثل الميل إلى الاخضرار أو اللون الأحمر أو الرمادى. وتتراوح صلادة الكبريت من ١,٥ إلى ٢,٥ على مقياس موز ويتراوح ثقله النوعى من ٢,٠٥ إلى ٢,٠٩ وهو هش ويتكسر بسهولة، ودرجة انصهاره ١١٢,٧ مئوية وهو ردىء التوصيل للحرارة جدا لدرجة أن مسكه باليد وتقريبه من الأذن يؤدى إلى سماع طقطقة ناتجة من تمدد السطح الخارجى بحرارة اليد دون تأثر الأجزاء الداخلية مما يؤدى إلى حدوث تشققات دقيقة. ويحترق الكبريت بسهولة فى الهواء بلهب أزرق وينتج عنه غاز ثانى أكسيد الكبريت ذو الرائحة النفاذة وهو غاز ضار جدا وكثرة انطلاقه فى الهواء نتيجة حرق الوقود الأحفورى أو الأنشطة الصناعية الأخرى له آثار صحية سيئة جدا على الإنسان والحيوان والنبات كما أنه من أكثر مسببات الأمطار الحمضية acid rains التى تعتبر من المشاكل البيئية العويصة فى العالم كله.

مصادر الكبريت:

يوجد الكبريت الطبيعى فى عدد كبير جدا من المعادن فى اتحادات كيميائية مثل المعادن الكبريتيدية والأملاح الكبريتية والكبريتات، ولكن أهم مصادره كمعدن هو النشاط البركانى الحديث حيث يوجد الكبريت ضمن النواتج المتأخرة للثورات البركانية كما أنه يشكل جزءا هاما من الأبخرة والغازات المتصاعدة أثناء الثورات البركانية على هيئة كبريت عنصرى أو

مركبات كبريتية، ويترسب الكبريت على حواف البركان أو جوانبه أو في الصخور المحيطة به بصور متعددة، وتوجد مثل هذه الرواسب في شمال اليابان حول بركان ماتسو وتعتبر من أضخم رواسب الكبريت في العالم، كما توجد مثيلاتها في كل من بوليفيا والفلبين وكاليفورنيا وهي كلها مناطق نشاط بركاني حديث. كذلك يتم الحصول على الكبريت من مصادر أخرى لا يعتبر فيها معدنا بالمعنى الجيولوجي الدقيق وأهمها:

أ- قباب الملح salt domes: من المعروف أن ملح الطعام يوجد على هيئة طبقات رسوبية ضمن بعض التتابعات الرسوبية الملحية، وفي الأعماق تحت الضغوط والحرارة المرتفعة يصبح الملح لدنا بحيث يمكنه أن يتداخل من أسفل في الطبقات الرسوبية التي تعلوه ويشق طريقه فيها متصاعدا إلى أعلى مكونا قبة تخترق هذه الطبقات الرسوبية، وقد يصل اتساع هذه القبة إلى بضعة كيلومترات وارتفاعها إلى حوالي عدة كيلومترات، ويؤدي تكون مثل هذه القباب إلى دفع الطبقات الرسوبية المخترقة إلى أعلى قليلا وميلها على جوانب القبة، وهذا بدوره يؤدي إلى تجمع أي مواد بترولية في الأجزاء الملاصقة للقبة الملحية من هذه الطبقات الرسوبية، ولذلك تعتبر هذه القباب من مصايد البترول الهامة، كما هو الحال في بعض الحقول الإيرانية. وأثناء تداخل القبة الملحية فإن الملح يذوب من واجهتها العليا بواسطة المياه المحبوسة في الصخور الرسوبية التي تخترقها، وتترك الشوائب غير القابلة للإذابة لتتجمع وتكون ما يعرف بصخور الغطاء cap rock للقبة الملحية. وتتكون في الغالب هذه الصخور من كبريتات الكالسيوم في صورة جبس وأنهيدريت، وفي وجود الغازات البترولية المتسربة من مكامن البترول على حافة القبة الملحية، تعمل بعض البكتيريا اللاهوائية التي تنشط في هذه

الظروف على اختزال الجبس وترسيب الكبريت بكميات كبيرة فى صخور الغطاء، ولهذا لا يعتبر الكبريت معدنا بالتعريف الجيولوجى الدقيق حيث أنه تكون نتيجة عمليات عضوية.

ب- طبقات الكبريت فى التتابعات الرسوبية: يوجد الكبريت على هيئة طبقات مصاحبة لطبقات التتابعات الرسوبية الملحية مثل الجبس والأنهيدريت والدولوميت وأحيانا الحجر الجيرى. ويعتقد أنها تتكون بطريقة مشابهة لما سبق شرحه فى حالة القباب الملحية نتيجة تأثير البكتريا اللاهوائية على الجبس فى وجود بعض الغازات البترولية، ولهذا لا يعتبر الكبريت هنا أيضا معدنا بالمفهوم الجيولوجى الدقيق.

ج- البيريت وأشباهه: هناك ثلاثة معادن فلزية تركيبها هو كبريتيد الحديد أشهرها وأكثرها انتشارا البيريت، يليه الماركازيت والبيروتيت pyrite, marcasite, pyrhotite، وتوجد هذه المعادن بكثرة كمعادن غثة فى كل الركازات الفلزية بنسب متفاوتة، أو قد توجد بتركيزات عالية فى بعض الصخور بدون معادن ركازية أخرى. ويمكن الحصول على ثانى أكسيد الكبريت لصناعة حامض الفوسفوريك مباشرة من هذه المعادن بتسخينها فى أفران خاصة معدة لذلك، ولهذا تعتبر هذه المعادن مصدرا هاما للكبريت، ويتم تعدينها من أماكن تركيزها مباشرة أو الحصول على مركزاتها من النفايات المتبقية من الركازات الفلزية الأخرى مثل ركازات النحاس والرصاص والزنك مثلا. وهذا مثال جيد للحصول على منتج لافلزى من معادن فلزية، مع ملاحظة الفرق بين المعدن الفلزى (له خواص فلزية) والمعدن الركازى (يمكن الحصول على فلز منه بصورة اقتصادية).

وقد وصل الإنتاج العالمى للكبريت فى عام ١٩٨٧ إلى حوالى ٥٨ مليون طن منها حوالى ١٠ مليون طن من البيريت. وفى أواخر الثمانينات كان سعر الطن يتراوح حول ١٠٠ دولار للطن، يزيد أو يقل عنها بقليل.

استخدامات الكبريت:

يستخدم الكبريت أساسا لتصنيع حامض الكبريتيك، ويقدر أن حامض الكبريتيك الذى يستخدم فى صناعات الأسمدة فقط يستهلك مالا يقل عن60 ٪ من إنتاج الكبريت العالمى، هذا بالإضافة إلى استخدامات حامض الكبريتيك الصناعية الأخرى مثل لب الورق والبطاريات السائلة واستخلاص بعض الفلزات من ركازاتها مثل اليورانيوم والنحاس وغيرها الكثير. أما استخدامات الكبريت الأخرى فهى كثيرة أيضا مثل صناعة المفرقعات وأعواد الثقاب والمطاط والمبيدات الحشرية وإنتاج كثير من المركبات الكبريتية اللازمة للصناعة.



الفصل الحادى عشر
معادن منفصلة

كثير من الاستخدامات اللافلزية للمعادن تستلزم استخدام معدن واحد فقط من أجل خاصية معينة من خصائصه، ويستعرض هذا الفصل عشرة أمثلة لهذه المعادن وهى الباريت والفلوريت والكالسيت والمجنيزيت والكوارتز ومعه السليكا ومعادن الفلسبار والتلك ومعادن الأسبستوس ومعادن الميكا ومعادن الأحجار الكريمة.

١ – البـــــاريت barite

يتبلور الباريت فى فصيلة المعينى القائم وغالبا ما تكون بلوراته منشورية أو مفلطحة، وهو شفاف وعديم اللون أو أبيض مع ميل إلىالزرقة أو الاحمرار أو الاصفرار وبريقه زجاجى أو لؤلؤى على أسطح الانفصام، وأهم ما يميزه ثقله النوعى الكبير بالنسبة لمعدن لافلزى (٤,٥) وصلادته المنخفضة إلىحد ما (٣-٣,٥) ويعتقد أن اسمه مشتق من كلمة barys بمعنى ثقيل فى اللغات الأوربية القديمة، حيث أن ثقله يشد الانتباه بمجرد الإمساك بعينة منه فى اليد. ويتركب الباريت من كبريتات الباريوم $BaSO_4$ ويحتوى على ٦٥,٧٪ أكسيد باريوم. وهناك معدن آخر للباريوم يسمى ويذيريت witherite ويتكون من كربونات الباريوم ويشبه الباريت فى كل خصائصه إلىحد كبير إلا أنه يتأثر بالأحماض ويتفاعل معها مع تصاعد

ثانى أكسيد الكربون بفوران، وهو من المعادن النادرة ويوجد فى بعض الأحيان مصاحبا للباريت.

والباريت من المعادن الشائعة كمعدن غث على هيئة تجمعات بلورية فى كثير من الركازات الفلزية، وخاصة تلك التى توجد على هيئة عروق، ومن الأشكال الشائعة لتجمعات الباريت هو تلاحم عدد من البلورات المفلطحة على هيئة تشبه الوردة، وتنتشر ورود الباريت barite roses هذه فى مساحات كبيرة فى بعض المناطق الصحراوية ومنها الواحات البحرية فى الصحراء الغربية المصرية، ولكن ليس هناك حتى الآن تفسير مقنع لكيفية تكون ورود الباريت. وحتى النصف الثانى من القرن التاسع عشر لم تكن للباريت استخدامات صناعية تذكر، ولكن مع التقدم الصناعى والتكنولوجى ازدادت أهمية الباريت فى عدة مجالات انطلاقا من ثقله النوعى؛ فمع تقدم أعمال الحفر فى الكشف عن البترول، ظهر للباريت دور هام فى هذه العمليات التى تستخدم حاليا ٩٠٪ من إنتاج الباريت العالمى؛ فالسوائل مثل البترول أو المياه الموجودة فى الطبقات الرسوبية على أعماق كبيرة تكون تحت ضغط كبير، وعند اختراق هذه الطبقات بآلات الحفر تندفع هذه السوائل بشدة إلى الحفرة وقد يؤدى ذلك إلى إنهيارها أو استمرار اندفاع السوائل إلى السطح مما يعوق عملية الحفر أو يفسدها، ولذلك يجب أن يكون سائل الحفر الذى يملأ الحفرة ثقيلا حتى يعادل الضغط الداخلى للسائل الموجود فى الطبقة، وهنا يجد الباريت أهم استخدام حيث أن خلط مسحوق الباريت مع سائل الحفر يعطيه الثقل المطلوب وفى نفس الوقت الباريت خامل كيميائيا فلا يسبب أى تفاعلات فى الحفرة كما أن صلادته منخفضة فلا يؤدى إلى تآكل فى معدات الحفر. وبالإضافة إلى ذلك يدخل الباريت فى بعض الصناعات مثل الزجاج والبويات والمطاط وبعض الكيماويات والصناعات النووية ضمن

المواد العازلة للإشعاعات، ومن أهم استخداماته أيضا تحضير "وجبة الباريوم" التى تعطى قبل بعض الفحوصات الطبية بأشعة أكس، بالرغم من قلة الكميات المستخدمة فى هذا المجال. وهو حاليا المصدر الرئيسى الوحيد للباريوم، الذى ليس له استخدامات صناعية فى الوقت الحاضر، ولكنه مطلوب فى البحوث والمعامل الكيميائية.

وتشمل مصادر الباريت الاقتصادية ثلاثة أنواع هى:

١- أجسام غير منتظمة أو عروق من تجمعات الباريت البلورية تملأ الفراغات والشقوق الصخرية، خاصة فى الصخور الرسوبية.

٢- طبقات من حبيبات الباريت الدقيقة الحجم ضمن بعض تتابعات الصخور الرسوبية، ويتراوح سمك هذه الطبقات من بضعة سنتيمترات إلى ما يقرب من ١٥ مترا.

٣- تركيزات تخلفية من الباريت نتيجة تجوية صخور تحتوى على نسبة ضئيلة من بلورات الباريت، حيث تتركز هذه البلورات على السطح نتيجة إزالة باقى المكونات الصخرية بعوامل التجوية.

وقد سجل إنتاج الباريت رقما قياسيا فى عام ١٩٨١ حيث وصل إلى٨,٣٣ مليون طن، ثم انخفض بعد ذلك إلى٦,٠٧ مليون طن فى عام ١٩٨٥ و ٤,٧٢ مليون طن فى عام ١٩٨٦ و٤,٦٣ مليون طن فى عام ١٩٨٧. وقد تراوح سعر الطن العالمى فى عام ١٩٨٧ ما بين ٢٤ و ٤٠ دولار حسب الحالة التى يُصَدَّر عليها وعلى تكاليف النقل. وأكثر الدول إنتاجا للباريت هى أمريكا والصين والهند والاتحاد السوفييتى السابق والمكسيك والمغرب.

٢- الفلوريت fluorite

يتبلور الفلوريب فى فصيلة المكعب وتتخذ بلوراته الشكل المكعبى وتتواجد فى تجمعات كتلية، أو يتواجد على هيئة حبيبات دقيقة أو خشنة فى كتل أو أجسام ذات أشكال متعددة، وله انفصام كامل فى اتجاهات متعددة، صلادته ٤ وبريقه زجاجي وله ألوان متعددة من شفاف وعديم اللون إلىأخضر وأزرق وأصفر وبنفسجي وأرجوانى ووردى وقد تتخذ البلورة الواحدة عدة ألوان، ويتميز الفلوريت بخاصية التفلر أى إشعاع ضوء عند تعرضه لأشعة أكس وقد اشتقت هذه الخاصية اسمها من اسم المعدن نفسة، فيقال للمادة متفلرة إذا كانت لها هذه الخاصية، أما اسم المعدن فقد اشتق من كلمة لاتينية بمعنى يسيل لأن خلط الفلوريت بأى مادة يؤدى إلى خفض درجة انصهارها، أى يجعلها تسيل بسهولة.

والفلوريت معدن شائع جدا فى ظروف جيولوجية متعددة، ولكن يتم الحصول عليه من العروق والأجسام العدسية المصاحبة للصخور المختلفة فى بيئات جيولوجية متعددة. وقد تكون العروق مكونة كلية من الفلوريت أو يكون الفلوريت مصاحبا لمعادن أخرى فى هذه العروق، حيث أنه من المعادن الغثة الشائعة جدا فى العروق الحرمائية التى تحتوى على ركازات فلزيه، كما أنه من المعادن الغثة الشائعة أيضا فى كثير من الركازات الفلزية غير العرقية مثل ركازات الزنك والرصاص فى الحجر الجيرى ورواسب اليورانيوم وغيرها. ويستخدم الفلوريت فى المجالات التالية:

١- يكاد يكون المصدر الوحيد لغاز الفلور، ويشكل هذا الاستخدام حوالى ٣٥٪ من مجموع استخدامات الفلوريت، ويستخدم الفلور حاليا فى إنتاج غازات الفلوروكلوروكربون التى تعرف باسم الفريون، وهى الغازات الأساسية فى كل البخاخات الغازية وفى أجهزة التبريد وفى استخدامات

أخرى عديدة، ولكن يقال أن الفريون بالرغم من أنه مسالم جدا وليس له أى أضرار ولا يشكل أى مخاطر على الإنسان أو البيئة المباشرة، إلا أنه متهم اتهاما خطيرا وهو أنه السبب فى تآكل طبقة الأوزون وظهور ثقوب فيها مما يشكل خطرا قاتلا على كل صور الحياة على سطح الأرض. كذلك يستخدم غاز الفلور فى إنتاج حامض الهيدروفلوريك الذى له استخدامات صناعية كثيرة.

٢- يستخدم الفلوريت كمصهر فى مجالات كثيرة خاصة فى صناعات الصلب، ويشكل هذا الاستخدام حوالى ٣٣٪ من مجموع استخدامات الفلوريت.

٣- يستخدم الفلوريت فى تحضير الكرايوليت الصناعى الذى يستخدم فى صناعة الألومنيوم كوسيط لصهر أكسيد الألومنيوم فى الأفران الكهربية.

٤- يستخدم الفلوريت فى تحضير سادس فلوريد اليورانيوم لتجهيزه لعملية الإثراء لإنتاج وقود المفاعلات الانشطارية.

٥- يستخدم الفلوريت فى صناعات أخرى عديدة مثل السيراميك وطلاء أدوات الطهى وعمل بعض أجزاء الأجهزة البصرية والعدسات، وهذه بالطبع تستلزم النوعيات الشفافة والنقية من الفلوريت.

وقد سجل إنتاج الفلوريت رقما قياسيا فى عام ١٩٨١ حيث بلغ ٥,١١ مليون طن، ولكنه تناقص بعد ذلك وتذبذب حتى بلغ حوالى ٤,٧٥ مليون طن فى عام ١٩٨٧، وجاء معظم هذا الإنتاج من الشرق الأوسط والشرق الأقصى (١٧٥ ألف طن) والمكسيك (٨٢٤ ألف طن) والصين (٧٥٠ ألف طن) و أوروبا الغربية (٧٥٠ ألف طن) ومنغوليا (٧٤٥ ألف طن) والاتحاد السوفيتى السابق (٥٦٠ ألف طن)، وأفريقيا (٥٠٠ ألف طن) و ١٠٠ ألف طن من كل من تشيكوسلوفاكيا وألمانيا الشرقية وأمريكا الجنوبية. ويوجد

الفلوريت في مناطق كثيرة في مصر على هيئة عروق وأجسام عدسية في صخور الجرانيت والديوريت مثل جرانيت العجلة والعنيجي بالصحراء الشرقية كما يصاحب العروق الحاملة للكاسيتيريت (المعدن الركازى للقصدير) في مناطق أبو دباب ونويبع والمويلحة وزرقة نعام بالصحراء الشرقية، كما يوجد أيضا على هيئة عروق في مناطق كثيرة في الدرع العربي بالمملكة العربية السعودية ومن أشهرها منطقة هضب الشرار.

٣- الكالسيت calcite

الكالسيت من المعادن الشائعة جداً؛ فهو المكون الرئيسي للحجر الجيري علاوة على تواجده في ظروف أخرى كثيرة منها تواجده على هيئة أجسام لها نشأة نارية، وتوجد بلورات الكالسيت المكتملة في ثلاثة هيئات شائعة وهي المنشور المعيني أو المنشور الثلاثي القائم بدون نهايات هرمية أو المنشور ذو النهايات الهرمية، ويتميز الكالسيت بالانفصام في ثلاثة اتجاهات موازية للمنشور المعيني، بحيث إذا تعرضت أي بلورة للكالسيت للطرق فإنها تتشقق بسهولة إلى منشورات معينية مكتملة الأوجه. وصلادة الكالسيت ٣ ووزنه النوعي ٢,٧٢ وهو عديم اللون و شفاف أو أبيض اللون أو مائلا إلى الرمادي أو الأحمر أو الأزرق أو الأخضر أو الأصفر، أو حتى البني و الأسود وذلك نتيجة وجود الشوائب، وبريقه زجاجي أو معتم. وتركيب الكالسيت الكيميائي هو كربونات الكالسيوم، وقد يحل كل من الحديد والمغنيسيوم محل الكالسيوم، وإذا زادت نسبة المغنيسيوم عن ٥٠٪ تحول إلى معدن آخر مشابه هو الدولوميت، وهناك تدرج في التركيب الكيميائي بين المعدنين. وأهم ما يميز الكالسيت هو الفارق الكبير بين معاملي انكساره وهو

الخاصية البصرية التى يطلق عليها اسم التفارق birefringence، والتى تؤدى إلى انقسام الشعاع الضوئى المار خلال بلورة الكالسيت إلى شعاعين يخرجان من الناحية الأخرى، لذلك تبدو الأشياء مزدوجة إذا نظرنا إليها من خلال بلورة كالسيت شفافة، وتعرف هذه الظاهرة بظاهرة الانكسار المزدوج double refraction وكان اكتشافها فى عام ١٦٩٦ هو الخطوة الأولى فى صناعة المجاهر البتروجرافية لدراسة المعادن والصخور وأول انطلاقة لعلم المعادن الضوئى optical mineralogy و علم بصريات المعادن mineral optics، وقد استخدم الكالسيت فى صناعة أهم جزء فى المجاهر البتروجرافية وهو ما يعرف باسم منشور نيكول Nicol prism نسبة إلى مخترعه، ولكن لغلو الكالسيت الذى يصلح لهذا وندرته فقد استبدل بمواد صناعية تقوم بنفس العمل، إلا أنها لا ترقى إلى جودة الكالسيت ودقته فيه. وقد كانت أيسلندا أكثر الدول إنتاجا للكالسيت الشفاف النقى الذى يصلح للاستخدامات البصرية لذلك كان يطلق على هذه النوعية من الكالسيت اسم أيسلاندسبار icelandspar بمعنى صخر أيسلاندا. ويوجد الكالسيت فى الطبيعة فى أشكال وبيئات مختلفة ومتنوعة جدا منها:

١- كتل وأجسام من بلورات الكالسيت المكتملة وغير المكتملة على هيئة عروق وعريقات فى جميع أنواع الصخور تقريبا، كما أنه من المعادن الغثة الشائعة جدا فى الركازات الفلزية بكل أنواعها.

٢- معدن إضافى فى كثير من الصخور النارية والمتحولة.

٣- مكون رئيسى للصخور الجيرية والطباشيرية والرخام حيث يوجد فيها على هيئات متعددة من حبيبات غاية فى الدقة إلى بلورات مجهرية أو أكبر كثيرا كما فى الرخام مثلا.

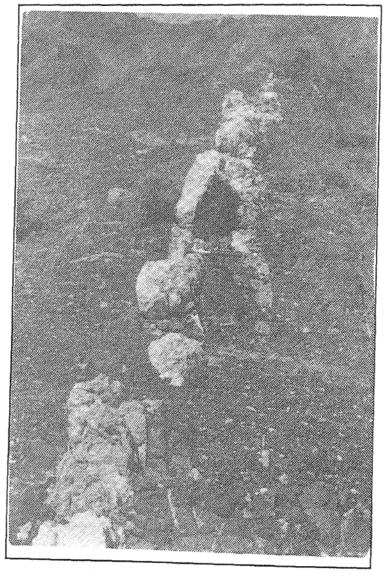
٤- الرواسب الجيرية العمدانية فى الكهوف والمغارات والتى تسمى ستالاكتايت وستالاجمايت، وكذلك الرواسب الجيرية التى تتكون حول الينابيع وعلى جانبى المجارى المائية وتسمى الترافرتين travertine.

5- توجد فى مصر نوعية خاصة من الكالسيت على هيئة صخر ذى ألوان تتراوح من البيضاء إلىالعسلى الفاتح والقاتم ويتميز بتعرقات متموجة ذات أشكال جمالية، وتشبه الألباستر alabaster العادى (نوعية من نوعيات الجبس)، ويطلق على هذه النوعية من الكالسيت اسم الألباستر المصرى ويستخدم فى صنع التماثيل والأدوات والمجسمات الجمالية.

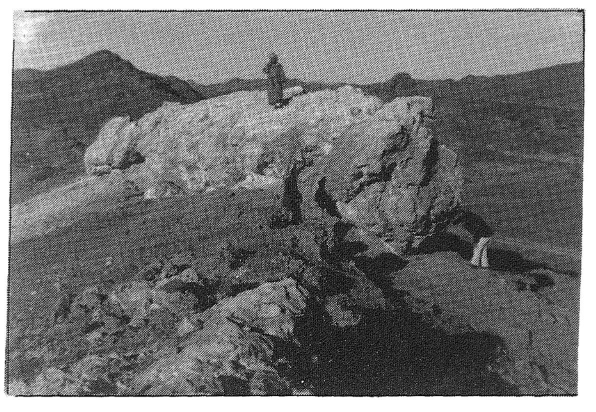
وللكالسيت استخدامات كثيرة جدا فى هيئة رخام أو حجر جيرى أو طباشيرى فى مواد البناء وصناعة الأسمنت والجير واستخلاص الحديد من خاماته وأغراض أخرى كثيرة يصعب حصرها. أما إحصائيات إنتاج الكالسيت فى صوره المتعددة فهى موزعة على الاستخدامات المختلفة.

٤ - الماجنيزيت magnesite

يوجد الماجنيزيت على هيئتين: الأولى، وهى الشائعة، هيئة كتلية من حبيبات مجهرية أى دقيقة جدا ويبدو فى هذه الحالة على هيئة كتل ترابية بيضاء تشبه الطباشير إلى حد كبير، أما الأخرى فهى على شكل كتل من بلورات خشنة التحبب مصاحبة لطبقات الدولوميت والحجر الجيرى. وتوجد الهيئة الترابية عادة على شكل عدسات أو عروق (شكل ١١-١) أو كتل غير منتظمة فى صخور السربنتين والصخور فوق المافية (١١-٢) حيث أنها تنشأ من تحلل هذه الصخور بواسطة المياه الحارة المحملة بثانى أكسيد الكربون. وصلادة الماجنيزيت تتراوح من ٣,٥ إلى٤,٥ ووزنه النوعى



شكل ١١ – ١ : عرق ماجنيزيت فى سربنتين بإمارة الفجيرة



شكل ١١ – ٢ : كتل من الماجنيزيت بمنطقة الشزم بجنوب السعودية

يتراوح بين ٣ و٣،٢، وبلوراته الخشنة لها بريق زجاجي وتبدو شفافة أو نصف شفافة ولونها أبيض أو رصاصي أو أصفر أو بني. والتركيب الكيميائي للماجنيزيت هو كربونات المغنيسيوم، وقد يحتوى على نسب متفاوتة من الحديد الذي يحل محل المغنيسيوم حيث توجد كل النوعيات المتدرجة في التركيب الكيميائي بين كربونات المغنيسيوم وكربونات الحديد (السيديريت siderite)، أي أن هناك سلسة معدنية بين المعدنين، وقد يحتوى الماجنيزيت أيضا على كميات قليلة من الكالسيوم والمنجنيز.

ويستخدم الماجنيزيت في الأغراض الآتية:

١- في مجال الحراريات لعمل الطوب الحراري لتبطين أفران صهر الفلزات من الداخل، وفي تحضير الماغنيسيا (أكسيد المغنيسيوم) بتسخينه فيتصاعد ثاني أكسيد المغنيسيوم وتتبقى الماغنيسيا.

٢- كنوع من السماد لإمداد التربة بالمغنيسيوم المطلوب للنباتات.

٣- صناعة الورق والمنسوجات.

٤- تحضير أملاح المغنيسيوم وكمصدر للفلز نفسه.

والمغنيسيوم عنصر أساسي في الكلوروفيل، أي أنه لازم لعملية التمثيل الضوئي في النباتات الخضراء.

وتوجد خامات الماجنيزيت الترابي في كل من اليونان وتركيا والنمسا والهند. أما الخامات الرئيسية للماجنيزيت البلوري فتوجد في أمريكا وكندا والاتحاد السوفيتي السابق وكوريا الشمالية والصين وعدة دول أخرى. وقد قدر إنتاج الماجنيزيت في أواخر الثمانينات بحوالي ٢٠ مليون طن سنويا، أما الدول الرئيسية المنتجة له فهي النمسا واليونان وتركيا والبرازيل وأسبانيا. وفي الصحراء الشرقية في مصر يوجد الماجنيزيت في عدة مناطق مع صخور السربنتين.

٥- الكوارتز والسيليكا quatrz and silica

يعتبر الكوارتز بصوره المتعددة في المرتبة الثانية في الشيوع بين المعادن في القشرة الأرضية بعد الفلسبارات، وهو والفلسبارات يكونوا حوالى ٧٠ ٪ أو يزيد من صخور القشرة الأرضية. ويتكون الكوارتز من ثانى أكسيد السيليكون SiO_2 ويحتوى على ٤٦,٧٪ أكسجين و ٥٣,٣٪ سليكون، ولكنه قد يكتنف حبيبات دقيقة جدا أو ترابية من بعض المعادن الأخرى أو من مواد سائلة أو غازية على هيئة فقاقيع غاية فى الدقة ولا يمكن رؤيتها إلا بالمجهر. وفي بنائه الذرى يرتبط الأكسجين بالسيليكون بروابط قوية جدا بحيث يتشابك كل أيون سيليكون بأربعة أيونات أكسجين ويتشابك كل أيون أكسجين بأيونى سيليكون، وهكذا تصبح النسبة بين الأكسجين والسيليكون ٢:١ ولذلك فإن صلادة الكوارتز عالية (٧) وهو من أكثر المعادن مقاومة للتحلل الكيميائى أثناء عمليات التجوية، ولا يتأثر بجميع الأحماض فيما عدا حامض الهيدروفلوريك. وللكوارتز بريق زجاجى ومكسر محارى. ويكون الكوارتز بلورات على شكل منشورات مستطيلة ذات نهايتين هرميتين، وعند وجود أوجه بلورية أخرى يمكن تمييز هذه البلورات إلى بلورات يمينية وبلورات يسارية لها تماثل مثل يدى الإنسان، أى أن البلورة اليمينية تعتبر صورة فى المرآة للبلورة اليسارية، وهذه الظاهرة شائعة أيضا فى بعض المعادن الأخرى. وتوجد السيليكا على هيئة معادن أخرى غير الكوارتز ولكنها نادرة، كذلك توجد السيليكا فى عدة صور أخرى غير متبلورة (أشباه معادن) منها النادر ومنها الشائع جدا مثل الصوان flint والشيرتchert.

والكوارتز معدن رئيسى فى الصخور الجرانيتية وكثير من الصخور الرسوبية مثل الحجر الرملى sandstone والرصيص conglomerate، وكثير من الصخور المتحولة مثل النيس والكوارتزيت. كذلك يوجد كأحد

المكونات المعدنية فى صخور أخرى كثيرة، وهو أيضا المكون الرئيسى للرمال المفككة وأحد المكونات فى بعض أنواع التربة. كذلك يوجد الكوارتز على هيئة عروق وكتل شائعة جدا بأحجام متباينة فى كل التكاوين الصخرية النارية والمتحولة.

وللكوارتز والسليكا فى صورهما المتعددة استعمالات كثيرة، نذكر منها الآتى:

١- الكوارتز فى صورة الرمال العادية، والصوان فى صورة الزلط مكونان رئيسيان فى مواد البناء لعمل الخلطات الأسمنتية والخرسانات، وكذلك الرمال العادية فى صناعة الطوب الرملى.

٢- الكوارتز فى صورة الرمال البيضاء النقية الخالية من الشوائب يشكل الخامة الأساسية فى صناعة كل أنواع الزجاج.

٣- فى صورة صخور متماسكة مثل الحجر الرملى والكوارتزيت quartzite يستخدم كأحجار بناء وأحجار تبليط وتكسية و أحجار جلخ.

٤- فى صورة مسحوق ناعم يستخدم فى عمل مساحيق وأوراق الصنفرة والجلخ.

٥- البلورات النقية تستخدم فى صناعة بعض العدسات والمعدات البصرية مثل المنشورات، وفى الإلكترونيات بالاستفادة بصفاته الكهربية؛ فعند تعريض شريحة من بلورة كوارتز مقطوعة بصورة معينة لضغط تتكون عليها شحنة كهربية موجبة فى أحد طرفيها وشحنة سالبة فى الطرف الأخر.

٦- صهر الكوارتز النقي وتجميده بصورة معينة يجعل منه مادة ذات معامل تمدد قليل جدا تتحمل التغيرات الكبيرة الفجائية فى درجة الحرارة بحيث يمكن تسخينه لدرجة الاحمرار ثم تبريدة فجأة بغمسه فى الماء مباشرة دون أن يتشقق.

٧- يستخدم فى عمل سبيكة الفيروسيليكون الهامة فى صناعة السبائك الحديدية، ويستخدم كذلك فى صناعة كربيد السيليكون ذو الصلادة العالية جدا.

٨- نوعيات كثيرة من الكوارتز والسليكا تعتبر أحجار كريمة ذات قيم متفاوتة، ويقدر أن حوالى ٨٠٪ بالوزن من الأحجار الكريمة المتداولة فى الأسواق حاليا من تلك النوعيات وأهمها الآتى:

* الأماتيست amathyste: نوعية من الكوارتز الشفاف ذات لون أرجوانى أو بنفسجى.

* ألوان أخرى للكوارتز الشفاف مثل الوردى أو الأحمر أو المدخن، أو نوعيات من الكوارتز الأبيض. وترجع ألوان الكوارتز إلى وجود شوائب به من المنجنيز أو التيتانيوم أو أكاسيد الحديد.

* الكوارتز الأصفر الليمونى أو السترين citrine، ويتميز بلون أصفر له تقدير خاص.

* عين الهر cat's eye: وله خاصية اللألأة أو تلاعب الألوان نتيجة لتكون الكوارتز على هيئة ألياف متشابكة بنظام معين، وقد تكون ذات ألوان متعددة. وتوجد نوعية أخرى ليفية مشابهة ذات لون أصفر تسمى عين النمر tiger's eye.

* العقيق agate: كثيرا ما يوجد الكوارتز فى كتل دقيقة التحبب أو ليفية يطلق عليها عموما اسم الكالسيدونى chalcedony، ومنه نوعيات ذات أشكال وألوان جميلة تعرف بالعقيق تكونت نتيجة الترسيب المتتالى للبلورات الدقيقة فى صفوف متتالية قد تكون مستقيمة أو متعرجة، ومنه أنواع ذات أسماء خاصة مثل الكريزوبريز chrysoprase والأونكس onyx أو العقيق اليمانى.

• اليصب (الجاسبر jasper): نوعية من الكوارتز غير الشفاف ذات ألوان حمراء جميلة نتيجة لحتوائه على شوائب من أكاسيد الحديد الحمراء على هيئة جزيئات ترابية.

• الأوبال opal: نوعية من السليكا الغير متبلورة التى تحتوى على الماء فى تركيبها وتوجد فى أشكال وألوان عديدة منها أحجار كريمة قيمة، خاصة التى لها تلاعب فى الألوان.

• البلور الصخرى rock crystal: وهو تجمعات لبلورات شبه مكتملة وذات نهايات هرمية من الكوارتز الشفاف توجد عادة كبطانة للفجوات والشقوق الصخرية وتتخذ أشكالا ذات صفات جمالية وتعرض للزينة.

• الخشب المتحجر silicified wood: نوعيات من السيليكا غير المتبلورة التى تتخذ مظهر جذوع الأشجار بشكل مذهل لأنها تكونت نتيجة إحلال السيليكا محل مادة الخشب جزىء بجزىء، ومن هذا الخشب المتحجر نوعيات ذات أشكال جمالية تتخذ للزينة.

ويعتبر الصوان (الفلنت) وهو صورة من السليكا غير المتبلورة من أوائل مواد الأرض التى استخدمها الإنسان؛ فمن أهم خصائصه أنه يتشقق إلى شرائح ذات حواف حادة عند تعرضه للضغط الشديد، وقد استخدم الإنسان الأول هذه الشرائح بعد تشكيلها على هيئة رؤوس حراب وأسهم وأدوات قطع مختلفة. كذلك يتقد الشرار من الفلنت عند ضربه ببعضه وقد استخدمه الإنسان الأول أيضا لإشعال النار.

٦- الفلسبارات felspars

الفلسبارات هي مجموعة من المعادن السليكاتية وتركيبها سليكات ألومينية للبوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم، وتنقسم إلى سلستين معدنيتين تسمى الأولى سلسلة الفلسبارات القلوية alkali felspars وتسمى الثانية سلسلة فلسبارات البلاجيوكلاز plagioclase felspars أو سلسلة البلاجيوكلاز للاختصار. والفلسبارات هي أكثر المعادن شيوعا في القشرة الأرضية وتكون ما لا يقل عن ٥٠٪ من حجمها على هيئة معادن مكونة للصخور. وتشترك كل معادن الفلسبارات في عدة خصائص فيزيائية وكيميائية نتيجة تشابهها في بنائها الذرى. وصلادة الفلسبارات ٦ ووزنها النوعي يتراوح من ٢,٥٥ إلى ٢,٧٦، ولها مستويين من الانفصام الزاوية بينهما ٩٠ درجة أو قريبة منها.

ومن ناحية التركيب الكيميائي فكل الفلسبارات سليكات ألومينية أى تحتوى على الأكسجين والسيليكون والألومنيوم، أما الاختلاف بينها فهو في مدى احتوائها على البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم، وتعتبر سلسلة الفلسبارات القلوية خليطا من معدنين أحدهما ألومينوسليكات البوتاسيوم ويسمى الأرثوكلاز orthoclase والثانى ألومينوسليكات الصوديوم ويسمى الألبيت albite، أى أن كل الفلسبارات القلوية متوسطة التركيب بين هذين المعدنين، أو بمعنى آخر تحتوى على كل من الصوديوم والبوتاسيوم بنسب متفاوتة، وذلك بسبب سهولة إحلال الصوديوم والبوتاسيوم في البناء الذرى لهذه المعادن. وهناك نوعيتين للأرثوكلاز تسمى الأولى ميكروكلين microcline وتسمى الثانية سانيدين sanidine. أما سلسلة البلاجيوكلاز فهى خليط من الفلسبار الصودى أى الألبيت والفلسبار الكلسى الذى يسمى أنورثيت anorthite ويتكون من ألومينوسليكات الكالسيوم، بمعنى أن كل

البلاجيوكلازات تحتوى على الصوديوم والكالسيوم بنسب متفاوتة وذلك لسهولة الإحلال بين الصوديوم والكالسيوم، ومعنى هذا أيضا أن الألبيت هو حلقة وصل بين السلسلتين، فهو طرف فى سلسلة الفلسبارات القلوية وفى نفس الوقت طرف فى سلسلة البلاجيوكلاز. أما الخلط بين الفلسبار البوتاسى (الأرثوكلاز) والفلسبار الكلسى (الأنورثيت) فهو غير ممكن إلا فى حدود ضيقة جدا حيث لا يمكن للأنورثيت أن يستوعب أكثر من بضعة أجزاء فى المائة من البوتاسيوم ولا يمكن للأورثوكلاز أن يستوعب أكثر من بضعة أجزاء فى المائة من الكالسيوم وذلك بسبب صعوبة إحلال البوتاسيوم والكالسيوم محل بعضهما فى البناء الذرى للفلسبارات، ولهذا لا توجد سلسلة معدنية بين الأورثوكلاز والأنورثيت. وتسمى معادن البلاجيوكلاز بأسماء مختلفة حسب النسبة بين الكالسيوم والصوديوم فى تركيبها، وهى: ألبيت حتى ١٠٪ كالسيوم، أوليجوكليز oligoclas أكثر من ١٠ إلى ٣٠٪ كالسيوم، أنديزين andesine أكثر من ٣٠ إلى ٥٠٪ كالسيوم، لابرادوريت labradorite أكثر من ٥٠ إلى ٧٠٪ كالسيوم و أنورثيت anorthite أكثر من ٩٠٪ كالسيوم.

وبالرغم من شيوع الفلسبارات أكثر من المعادن الأخرى، إلا أن الفلسبارات المستخدمة صناعيا توجد فقط فى مواقع محدودة مع عروق البجماتيت حيث يمكن الحصول عليها بصورة نقية، وتستخدم الفلسبارات القلوية كخامة أساسية فى صناعة الخزف حيث يخلط مسحوقها الناعم جدا مع الخامات الأخرى مثل أنواع الطفلة المختلفة ليعمل كمادة لاحمة للمخلوط كله وفى نفس الوقت يضفى عليه اللمعة المطلوبة للأوانى الخزفية، كما تستعمل الفلسبارات القلوية أيضا فى صناعات الزجاج كمصدر للألومنيوم. كذلك تستخدم الصخور الغنية بالفلسبارات فى أعمال الإنشاءات المعمارية للتكسية

وفى الأرضيات وأغراض أخرى مشابهة، مثل الأنورثوزيت الذى يتكون كلية تقريبا من اللابرادوريت. وتوجد فى مصر عدة أماكن لوجود خامات الفلسبار الجيدة والتى تمد صناعات الخزف المصرية بكثير من احتياجاتها.

٧- التلك talc

عرف التلك منذ القدم؛ فقد استخدمه المصريون القدما كمادة طيعة لصنع التماثيل الصغيرة وبعض القدور والأوعية الأخرى، وكذلك استخدموا مسحوقه ضمن أدوات التجميل. ويعرف التلك أيضا باسم الستياتيت steatite أو حجر الصابون soapstone لملمسه الشمعى أو الصابونى الذى يميزه نتيجة لصلادته المنخفضة (١). ونادرا ما يكوّن التلك بلورات مكتملة ولكنه يوجد على هيئة كتل صفائحية أو كتل غير منتظمة، وحبيباته ذات انفصام قاعدى تام مثل معادن الميكا نتيجة بنائه الذرى على هيئة صفائح متوازية والترابط بينها ضعيف جدا، ووزنه النوعى ٢,٨ وبريقه لؤلؤى أو شحمى ولونه العادى يتراوح من الأبيض الناصع إلى الرمادى والأخضر التفاحى خاصة عندما يكون على هيئة كتل مدموكة، وهو خامل كيميائيا ولا يتأثر بالأحماض ولا ينصهر وتركيبه سليكات المغنيسيوم المائية. والتلك معدن ذو نشأة ثانوية إذ يتكون نتيجة تحول أو تحلل المعادن الغنية بالمغنيسيوم مثل الألفين والبيروكسين وخاصة السربنتين، أو يتكون نتيجة فعل المحاليل الحرمائية على بعض الصخور، ولذلك يوجد فى أماكن كثيرة مصاحبا لتمعدنات بعض الفلزات كما يحدث فى الصحراء الشرقية المصرية حيث يوجد التلك مصاحبا لتمعدنات النحاس فى الصخور البركانية فى مناطق الدرهيب والعطشان وأم سميوكى وحمامطة وغيرها. ويستخدم التلك فى

صناعة البويات والورق ومواد التشحيم والبلاستيك والمطاط ومواد المكياج وأشهرها بودرة التلك، ويقال أن التلك هو أول معدن يتعامل معه الإنسان مباشرة، فهو البودرة التى يرش بها عند مولده.

٨- الأسبستوس asbestos

كلمة أسبستوس ليست اسما لمعدن معين ولكنها اسم تجارى يطلق على مجموعة من المعادن تتواجد على هيئة ألياف شعرية، وسبب تواجد هذه المعادن على هذه الصورة هو بناؤها الذرى الداخلى الذى يجعل بلوراتها فى هيئة إبرية أو ليفية، وتتميز هذه البلورات بمقاومتها الشديدة للأحماض والمواد الكيميائية وتحملها الفائق للحرارة وقدرتها الفائقة على عزلها. وتنقسم معادن الأسبستوس إلى قسمين: أسبستوس السربنتين serpentine asbestos وأسبستوس الأمفيبول amphibole asbestos؛ فأسبستوس السربنتين هو إحدى صور معدن الكريسوتيل crysotile الذى يتركب من سليكات المغنيسيوم المائية، وهو معدن الأسبستوس الأساسى، ويشكل حوالى ٩٥٪ من إنتاج العالم من الأسبستوس، إذ أنه أفضل الأنواع لأن أليافه طويلة ومرنة ويمكن فصلها بسهولة عن بعضها، ولهذا فمن الممكن غزله فى خيوط ذات سمك متغير، كما يمكن نسجه على هيئة أنسجة لإنتاج مختلف المتطلبات الصناعية المقاومة للحرارة مثل الخيوط والحبال والملابس الواقية من الحرارة وبعض الأدوات العازلة للحرارة الشديدة، وبالرغم من أن الكريسوتيل عازل ممتاز للحرارة إلا أن مقاومته للتآكل الكيميائى ليست شديدة، وأكثر استخداماته فى الخرسانات المقاومة للشد حيث أن هذه الألياف تلتصق بالأسمنت بشدة وتعطيه خاصية مقاومة الشد، ولذلك يدخل فى

صناعة المواسير والأنابيب الأسمنتية. أما أسبستوس الأمفيبول فهو يتكون من خمسة معادن هى الكروسيدوليت crocidolite والأموزيت amosite والأنثوفليت anthophyllite والتريموليت tremolite والأكتينوليت actinolite، ولكن أهمها الكروسيدوليت والأموزيت. وتتركب هذه المعادن من سليكات المغنيسيوم والحديد المائية، ولكنها تختلف فى خواصها اختلافا كبيرا نتيجة اختلاف النسبة بين الحديد والمغنيسيوم فى تركيبها. وألياف الأسبستوس الأمفيبولى أقصر وقابلة للكسر أكثر من ألياف الأسبستوس السربنتينى، ولكنها مقاومة للأحماض والمواد الحارقة أكثر منه، ولذلك تستخدم أساسا فى التغليف وصناعة مواد البناء العازلة والمقاومة مثل الأسقف والقواطع.

ويتواجد الأسبستوس السربنتينى فى صخور السربنتين التى تنشأ من تحول أو تغير الصخور فوق المافية مثل البيريدوتيت peridotite أو الديونيت dunite على هيئة عدسات أو عروق أو أجسام غير منتظمة. وقد ينشأ الأسبستوس أيضا فى صخور الدولوميت نتيجة التغيرات الحرمائية، ولكنه ليس شائعا مثل النوع الأول. ويتواجد الأسبستوس الأمفيبولى فى صخور الشست والاردواز. وقد بلغ الإنتاج العالمى للأسبستوس عام ١٩٨٧ ما يقرب من ٤ مليون طن جاء أساسا من الاتحاد السوفييتى السابق (حوالى ٢,٣ مليون طن) وكندا (٦٦٥ ألف طن) والبرازيل (٢١٤ ألف طن) وزيمبابوى (١٩٥ ألف طن) وجنوب أفريقيا (١٣٤ ألف طن).

وقد وجد أنه فى جميع مراحل التعامل مع الأسبستوس منذ لحظة استخراجه من مواقعه إلى وضعه فى استخدامه النهائى، تتطاير منه جزئيات ترابية على هيئة شعيرات دقيقة تظل معلقة فى الهواء وقد يصل تركيزها فيه إلى ١٠٠٠ شعيرة فى السنتيمتر المكعب من الهواء، واستنشاق هذه الشعيرات

مع الشهيق لفترات طويلة يؤدى إلى أضرار خطيرة لرئة الإنسان، وقد سجلت إصابات كثيرة بهذا السبب بين المشتغلين فى مناجم الأسبستوس ومصانعه، ولهذا توضع الآن مواصفات دقيقة واحتياطات بالغة الشدة خاصة بالتعامل مع الأسبستوس، وكذلك تجرى محاولة إيجاد البدائل له، ولكن هذه المحاولات ليست ناجحة حتى الآن، بالإضافة إلى الأضرار التى قد تنشأ عن هذه البدائل نفسها.

٩- الميكا mica

ليست الميكا اسما لمعدن معين ولكنه اسم شامل لمجموعة من المعادن السليكاتية التى يعتمد بنائها الذرى على ترتيب الأيونات على هيئة شرائح مما يجعل لها انفصام قاعدى تام يعتبر من أوضح حالات الانفصام فى المعادن على الإطلاق، وهذا الانفصام يجعل من السهل جدا الحصول على شرائح ذات سمك قليل جدا يصل إلى بضعة أجزاء من المليمتر، وهذه الخاصية التى تنفرد بها الميكا، بالإضافة إلى بعض الخصائص الأخرى تجعلها ذات فوائد جمة فى بعض الاستخدامات الصناعية. وتتكون معادن الميكا من سليكات الألومنيوم والبوتاسيوم مع وجود أو عدم وجود الحديد والمغنيسيوم. وأهم ثلاثة معادن من مجموعة الميكا التى تستخدم صناعيا هى المسكوفيت muscovite والفلوجوبيت phlogopite والبيوتيت biotite. والمسكوفيت عديم اللون ولا يحتوى على الحديد ولا المغنيسيوم، ويحتوى الفلوجوبيت على المغنيسيوم زيادة على تركيب المسكوفيت، أما البيوتيت فيحتوى على الحديد والمغنيسيوم. وتتميز شرائح الميكا بعدة صفات أهمها:

١- المرونة والقابلية للثنى دون أن يتأثر شكلها، حيث تعود إلى استقامتها بمجرد رفع الضغط عنها.

٢- التوصيل الرديء جدا للحرارة دون أن تتأثر وعدم قابليتها للانصهار.

٣- الشفافية مثل الزجاج تماما واللمعان والبريق نتيجة انعكاس الضوء على أسطح الإنفصام.

٤- عدم توصيل التيار الكهربى مهما كانت رقة الشرائح، ولا تضارعها فى ذلك أى مادة أخرى طبيعية أو صناعية.

وتستخدم الميكا فى الأغراض الصناعية إما على هيئة صفائح رقيقة وإما على هيئة مطحون الميكا وهو عبارة عن شرائح ذات حجم دقيق جدا ويتم الحصول عليها مباشرة من مصادرها أو بطحن بقايا الشرائح الكبيرة بعد تشكيلها إلى المواصفات المطلوبة.

والمسكوفيت هو الميكا الرئيسية المستخدمة صناعيا لأنه أكثرها تواجدا على هيئة كتل كبيرة يمكن استخلاص الشرائح منها بالأحجام المناسبة للاستخدامات المختلفة، وتسمى هذه الكتل باسم كتب المسكوفيت، بالإضافة إلى تفوقه على معادن الميكا الأخرى فى العزل الحرارى والكهربى. وتستخدم شرائح الميكا أساسا فى الصناعات الكهربية كعوازل حرارية وكهربية فى الأدوات حيث أنها تتحمل وتعزل التيار الكهربى والحرارة الناشئة عن مروره مثلما يحدث فى السخانات والمكاوى والأجهزة المنزلية الأخرى وفى المكثفات والمولدات وغيرها، حيث يسهل تشكيل الشرائح بالقطع والقص والتخريم لتتلائم مع الاستخدامات المختلفة، أما الميكا المطحونة فتستخدم فى عدة أغراض أخرى مثل إنتاج السيراميك العازل للحرارة والكهرباء وفى دهان وتبطين مواد وأدوات الديكور لإعطائها اللمعان والتأثيرات الناشئة عن الانعكاسات الضوئية على أسطح الانفصام.

وتوجد أهم خامات الميكا وخاصة المسكوفيت فى الهند وأمريكا وكندا، وتوجد فى مصر بعض مواقع بالصحراء الشرقية بها رواسب للمسكوفيت فى عروق من البجماتيت.

١٠- الأحجار الكريمة gemstones

الحجر الكريم هو أى معدن أو مادة أرضية أخرى (شبه معدن مثلا) له قيمة تقديرية كبيرة يعترف بها الجميع بغض النظر عن فوائده الأخرى أو استخداماته الصناعية، هذا باستثناء الفلزات التى أطلقنا عليها اسم الفلزات النبيلة سابقا وهى الذهب والفضة والبلاتين. وأهم الصفات التى تضفى على المعدن أو أى مادة أخرى هذه القيمة التقديرية هى الجمال والندرة ومقاومة التغير والتحلل بالعوامل الجوية العادية. وقد يتحقق الجمال من صفات مختلفة مثل اللون أو البريق أو الشكل البلورى أو الانعكاسات الضوئية أو حتى من وجود بعض الشوائب بصورة خاصة. وقد أمكن حديثا تقليد المعادن الكريمة صناعيا وإنتاج نوعيات تشابهها تماما أو حتى أجمل منها، ولكن القيمة التقديرية للمعدن الحقيقى لازالت أكبر بكثير من التقليد. ومن الشائع أن تكون للمعدن الواحد عدة نوعيات بعضها كريم والآخر عادى، وحتى النوعيات الكريمة قد تتفاوت فى قيمتها تفاوتا كبيرا، والمثال الجيد على ذلك الماس فليست كل حبيبات الماس المستخرجة من مناجمه هى أحجار كريمة بل منها البورت والكربونادو التى تستخدم فى الأغراض الصناعية. وبالرغم من عدم وجود اتفاق عام على ماهية المعادن التى لها نوعيات كريمة، إلا أن أشهر الأحجار الكريمة تأتى من عدد محدود من المعادن فى حدود العشرة أو تزيد قليلا وأهمها: الماس، والكورندم والكريسوبريل والبريل والسبينل والتوباز

والزيركون والتورمالين والجارنت والكوارتز الفيروز (التوركواز) والزبرجد (البيريدوت).

ومعالجة الأحجار الكريمة أساسية قبل عرضها أو بيعها، وهذه المعالجة إما أن تضيف إلى القيمة الأصلية للحجر الكريم أو تقلل منها؛ فالحجر يجب أن يصقل جيدا وفي اتجاهات معينة حتى يظهر في أبهى حلله، ولهذا فإن البراعة البشرية في انتقاء فصوص الأحجار الكريمة وتقطيعها وتشكيلها وصقلها عامل أساسي في تقدير القيمة النهائية لهذه الأحجار، وبالطبع فإن هذا عمل صعب للغاية لأن معظم الأحجار الكريمة ذات صلادة عالية. ولا يتسع المجال هنا إلا لذكر بعض الأحجار الكريمة كأمثلة فقط، وقد سبق ذكر الماس وبعض نوعيات المعادن الكريمة التي استعرضت مع المعادن الصناعية، أما النوعيات الكريمة التي تستحق الذكر هنا فهي نوعيات البريل والكورندم. وقد سبق وصف البريل كمصدر لأحد الفلزات النادرة وهو البريليوم، ولكن المعدن له نوعيات كريمة أيضا أهمها الزمرد emerald الذي يعتبر في المرتبة التالية للماس مباشرة، بل أن هناك من يعتبر أن بعض نوعيات الزمرد النادرة أقيم من الماس، ولون الزمرد أخضر ذو صفات خاصة يصعب وصفها ولذلك يسمى هذا اللون الأخضر الزمردي emerald green، وتنحصر مصادره العالمية في كولومبيا وفي كارولينا الشمالية واستراليا ومصر، وقد اشتهرت المصادر المصرية منذ عصور الفراعنة والمعتقد أنها لم تستنفد بعد، ولكنها تقع في مناطق وعرة بالصحراء الشرقية، وقد اكتشف الزمرد مؤخرا في ديسمبر عام ١٩٩٣ في سيناء غرب مدينة نويبع بحوالي ٢٥ كم (انظر أشكال ٩-٢، ٣، ٤، ص ١٨١-١٨٣). وهناك نوعيات كريمة أخرى من البيريل هي الأكوامارين aquamarine ذو اللون الأزرق المخضر والمورجانيت morganite ذو اللون الأحمر الوردي

والهيليودور heliodore ذو اللون الأصفر الذهبي. وهناك حجر كريم قريب من البريل ويسمى الكساندريت alexandrite نسبة إلىأحد قياصرة الروس الذى كان مولعا بالأحجار الكريمة، وهو نوعية من معدن الكرسوبيريل chrysoberyl الذى يتكون من أكسيد البريليوم والألومنيوم مع وجود بعض الحديد والكروم، ويعتبر أثيم الأحجار الكريمة على الإطلاق لندرته الشديدة فهو موجود فقط بمنطقتين فى العالم مصاحبا للزمرد؛ واحدة فى جبال الأورال والثانية فى سريلانكا، وكذلك لاختلاف لونه بين الضوء الطبيعى والضوء الصناعى، ففى ضوء الشمس يبدو أخضرا مثل الزمرد أما فى الضوء الكهربى فهو أحمر أرجوانى أو بنفسجى، فيجمع بين لونى الزمرد والأماثيست.

والكورندم corundum هو أكسيد الألومنيوم النقى وصلادته ٩ ووزنه النوعى ٤,٠٢ وبريقه ماسى إلى زجاجى شفاف إلى نصف شفاف، وهو غير قابل للانصهار أو التفاعل مع الأحماض، ويستخدم فى مساحيق الصنفرة والجلخ مثل الإمرى emery الذى يتكون من الكورندم والهيماتيت والماجنيتيت، ومن نوعياته الكريمة الياقوت ruby وهو شفاف وذو لون أحمر قاتم، والسافير sapphire وهو النوع الأزرق، وعادة ما تكون تلك الألوان نتيجة وجود شوائب.



الفصل الثانى عشر

المتبخرات Evaporites

تعتبر المتبخـرات نـوع خـاص مـن الصخـور الرسـوبية تتكـون نتيجـة تبخير المياه السطحية المحملة بالأملاح إلى حد تشبعها وترسيب تلـك الأمـلاح باستمرار التبخير، وبالطبع لا يتم ذلك إلا فى ظروف مناخيـة قاريـة. ومعظـم المعادن التى تتكون بهذه الطريقـة أمـلاح سـهلة الذوبـان فـى المـاء مثـل ملـح الطعام. ويمكن تقسيم المتبخرات إلـى ثلاثـة أنـواع حسب نوعيـة الميـاه التـى تترسب منها وهـى المتبخـرات المحيطيـة، ومتبخـرات البحيـرات، ومتبخـرات الميـاه الجوفيـة. وتتشـابه المتبخـرات المحيطيـة إلـى حـد كبـير حيـث أن ميـاه المحيطـات لهـا تركيـب واحـد تقريبـا مـن ناحيـة نوعيـة الأمـلاح المذابـة فيهـا ونسبها إلى بعضها، ومن دراسة تتابعات المتبخرات المحيطية وجد أن هنـاك تتابع ثابت لترسيب المعادن مـن ميـاه المحيط بـالتبخير وهـو الحجـر الجيرى أولا ثـم الجبـس ثـم الملـح الصخـرى ثـم كبريتـات وكلوريـد الصوديـــوم والمغنيسيوم ثم أخيرا كلوريد البوتاسيوم. أما متبخرات البحيرات ومتبخـرات المياه الجوفية فهى تختلف كثيرا من منطقـة إلـى أخـرى لاختـلاف المحتـوى الملحى للبحيرات المختلفـة وللميـاه الجوفيـة فـى المنـاطق المختلفـة، وبـالطبع ليس لهـا تتـابع ثـابت فـى الترسـيب. ويعـرض هـذا الفصـل أهـم معـادن المتبخرات

١- الجبس والأنهيدريت

عرف الجبس gypsum منذ فجر التاريخ واستخدمه قدماء المصريين في إنشاءاتهم وخاصة على هيئة لوحات رقيقة لتغطية النوافذ وفتحات الإضاءة كما نستخدم الزجاج الآن؛ فالضوء المار من لوحات الجبس يكون ناصع البياض مثل ضوء القمر، وقد انتقل هذا الاستخدام للحضارات الأخرى وشاع بصفة خاصة لدى الإغريق. وأكثر استخدامات الجبس الحالية في صناعات البناء لعمل المون المختلفة وخاصة المصيص وعمل الأجزاء البنائية سابقة التجهيز والأعمدة والديكورات، ومن أهم استخداماته في أغراض البناء هو خلطه مع الأسمنت للإسراع في تماسكه. وقد بدأت صناعات البناء في إنتاج مونة الجبس على المستوى الصناعي في أواخر القرن الماضي عندما تم اكتشاف طريقة لتأخير تماسكها بعد خلطها بالماء حتى يمكن تشكيلها أو فردها على الحوائط. كما يشيع استعمال الجبس في عمل التماثيل والمجسمات الجمالية لقلة صلادته وسهولة تشكيله. ويستخدم الجبس أيضا كسماد لمعالجة التربة الزراعية القلوية، وفي حالة غياب الحجر الجيري يمكن استخدام الجبس بديلا عنه في تصنيع الأسمنت البورتلاندي.

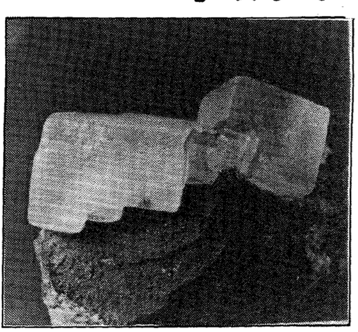
ويتكون الجبس من كبريتات الكالسيوم المائية ويوجد على هيئة منشورات مستطيلة وتشيع فيه التوأمية التي تعطي بلوراته شكل ذيل العصفور، وكذلك يوجد على هيئة كتل صفائحية أو كتل ليفية تعرف باسم ساتان سبار satinspar أو حجر الحرير نسبة إلى الحرير حيث أن لها بريقا حريريا. أما النوع الكتلي الذي تصنع منه التماثيل فيسمى ألباستر alabaster ويتميز بألوان متدرجة من الأبيض إلى العسلي القاتم في طبقات متعرجة أو مستقيمة مع ملاحظة أن الألباستر المصري ليس جبسا ولكنه نوعية من الكالسيت (كربونات الكالسيوم)، و السيلينيت selenite هو النوعية الشفافة

من الجبس والتى يمكن فصلها إلى شرائح رقيقة. أما الأنهيدريت anhydrite فهو كبريتات الجبس اللامائية وعادة يتكون من الجبس عندما يفقد ماءه نتيجة انطماره إلى أعماق كبيرة فى القشرة الأرضية.

وتوجد رواسب الجبس والأنهيدريت على هيئة طبقات رسوبية تصاحبها طبقات من الحجر الجيرى والطفلة وأحيانا الحجر الرملى، كما توجد فى الأجزاء العليا لقباب الملح على هيئة صخور غطاء ومعها طبقات من الكبريت. ويترسب الجبس من ماء البحر عندما تزيد فيه معدلات البخر، ولذلك يشيع تكونه على مدى العصور الجيولوجية فى الخلجان البحرية فى المناطق القارية أو البحار المقفولة مثل البحر الميت وبحر قزوين فى الوقت الحالى. وتوجد كميات كبيرة من الجبس على ساحل البحر الأحمر فى كل من مصر و السعودية تكونت فى عصر الميوسين (منذ ٣٥ مليون سنة) حيث كانت البيئة الجيولوجية مناسبة لتكونه، ويمكن أيضا تكون الجبس والأنهيدريت فى البيئات البركانية أو البيئات الحرمائية على هيئة طبقات أو عروق وعريقات. ويعتبر الجبس من المنتجات الرخيصة حيث تصل تكلفة نقله إلى أكثر من تكلفة استخراجه لذلك ليست له تجارة عالمية. وتعتبر أمريكا أكبر دولة منتجة للجبس وقد بلغ إنتاجها حوالى ١٤,٣ مليون طن عام ١٩٨٧، ويبلغ مجموع إنتاج أوربا الغربية فى نفس العام حوالى ١٥ مليون طن، أما الأنهيدريت فهو لا يستخدم كثيرا حيث أنه لا يدخل فى صناعة المصيص والمونة بالإضافة إلى تواجده عادة فى أعماق أكبر من الجبس.

٢- الملح الصخرى rock salt

لاتغيب عن أى انسان أهمية الملح، ولكـن الحقيقـة التـى قـد لا يعرفهـا الجميع أن الملح من رعايا مملكة المعـادن ويسـمى الهـاليت halite وتركيبـه هو كلوريد الصوديوم ويحتوى على ٣٩,٣٪ من وزنه صوديوم و٦٠,٧٪ من وزنه كلور، ويتبلور فى نظام المكعـب وتتخذ بلوراتـه شـكل المكعـب (شـكل ١٢-١)، ويوجد فى الطبيعة على هيئة تجمعات بلورية أو على هيئـة حبيبـات كتليـة أو كتـل ذات تحبـب دقيـق جـدا، وصـلادتـه ٢,٥ ووزنـه النوعـى ٢,١٦ وبريقه زجاجى ولونـه شـفاف أو أبيـض أو يميـل إلـى الأصفـر أو الأحمـر أو الأزرق أو البنفسجى اعتمادا على ما قد يحتويه من الشوائب، وأهم مـا يميزه مذاقـه وسرعة ذوبانـه فـى المـاء، وأهـم الشـوائب التـى تختلـط بـه كبريتـات وكلوريدات الكالسيوم والمغنيسيوم، ويتميز بلدونتـه وقابليتـه للانسياب تحـت تأثير الضغط. ومصادر الهاليت هى:



شكل ١٢-١: بلورات من الملح الصخرى.

١- رواسب على هيئة طبقات تسمى طبقات الملح الصخرى مصاحبة للجبس والأنهيدريت والحجر الجيرى فيما يوصف برواسب المتبخرات والتى قد تصاحبها أيضا طبقات من السيلفيت وهو كلوريد البوتاسيوم، وتتكون هذه الرواسب بفعل تبخير المياه المالحة سواء مياه البحار والمحيطات أو البحيرات المالحة، وتتلخص هذه العملية فى أن تبخر جزء من مياه البحر يؤدى إلى زيادة تركيز الأملاح الذائبة فيه حتى يصل إلى درجة التشبع، وبعدها تبدأ فى الترسيب مع استمرار البخر، وتنتج عن ذلك الرواسب الملحية أو المتبخرات evaporites. وتتكون هذه الرواسب فى أحواض شبه معزولة فى المناطق القارية أو الشبه قارية حيث يكون هناك إمدادات دائمة من الأملاح إلى حوض الترسيب دون أن يكون هناك إمدادات كبيرة من الماء العذب عن طريق الأنهار، علاوة على وجود معدل عال من البخر. وقد تكونت مثل هذه الرواسب فى أزمنة جيولوجية عديدة عندما كانت تتوافر الظروف لذلك، وتحتوى المناطق المتاخمة لخليج السويس وقاعه أيضا على رواسب سميكة جدا لهذه المتبخرات منها الجبس والملح الصخرى تكونت قبل حوالى ٣٥ مليون سنة، كما أن هناك مناطق كثيرة فى العالم تتوافر فيها هذه الشروط حاليا ويتم فيها تكون رواسب متبخرات حديثة مثل البحر الميت والبحيرة الملحية العظمى Great Salt Lake فى ولاية يوتا الأمريكية.

٢- قباب الملح salt domes: وتنشأ هذه القباب عندما تتعرض الطبقات الملحية بعد انطمارها لضغوط القشرة الأرضية فينساب الملح إلى أعلا مكونا محقونات ملحية تعرف بقباب الملح، وقد تم ذكرها مع رواسب الكبريت.

٣- يتم أيضا الحصول على الملح وأملاح أخرى بن مياه المحيط بالتبخير فى الملاحات الصناعية ولكنه فى هذه الحالة يعتبر أجنبيا فى مملكة المعادن حيث أن الإنسان قد تدخل فى تكوينه، ولذلك سنستبعده من جولتنا.

وتشمل استخدامات الهاليت الآتى:

١- الصناعات الكيماوية وتستهلك حوالى ٦٠٪ من الإنتاج العالمى وأهمها إنتاج أملاح الصوديوم التى تستخدم فى صناعات الصابون والزجاج والورق، وإنتاج الصودا الكاوية التى تستخدم فى صناعات الصابون والورق أيضا وفى تنقية البوكسيت (خام الألومنيوم) وفى تكرير البترول وصناعات أخرى كثيرة، وتحضير الكلور الذى يستخدم فى صناعات الورق والأنسجة وفى تعقيم المياه وفى عمليات الكلورة فى الصناعات الفلزية، كذلك يستخدم الملح نفسه فى صناعات أخرى مثل دباغة الجلود.

٢- الصناعات الغذائية لحفظ وتمليح المأكولات وتستهلك حوالى ١٩٪ من الإنتاج العالمى.

٣- إزالة الثلوج من الطرقات فى المناطق الباردة وتستهلك حوالى ١١٪ من الإنتاج العالمى.

٤- استخدامات أخرى مثل تغذية الحيوانات ومعالجة المياه وحفر آبار البترول وتحضير الصوديوم الفلزى. والاستخدامات الصناعية للصوديوم الفلزى ليست كثيرة، ومنها استخدامه فى الحالة المنصهرة كمهدىء ومبرد فى بعض المفاعلات النووية الانشطارية.

وقد وصل الإنتاج العالمى للملح الصخرى فى عام ١٩٨٧ إلى حوالى ١٧٤,٥ مليون طن، وكانت النمسا أكبر مصدر له، واليابان أكبر مستورد وأمريكا أكبر مستهلك.

٣- السيلفيت sylvite

السيلفيت sylvite، وتركيبه كلوريد البوتاسيوم، هو أهم مصدر لأملاح ومركبات البوتاسيوم الأخرى، وتوجد بلوراته على هيئة مكعبات أو على هيئة هرمية مزدوجة ذات ثمانية أوجه ويشبه الهاليت إلى حد كبير، وصلادته ٢ ووزنه النوعي ١,٩٩ وهو شفاف وعديم اللون أو أبيض في الحالة النقية ولكن مع وجود بعض الشوائب فإنه يميل إلى الزرقة أو الاصفرار أو الاحمرار، ويذوب في الماء بسهولة أكثر من الهاليت ومذاقه ملحي مع مرارة. وتوجد رواسب السيلفيت مع المتبخرات حيث ينشأ بنفس طريقة طبقات الهاليت، ولكنه أكثر ندرة من الهاليت حيث أن تركيزه في مياه البحر أقل كثيرا من الهاليت بالإضافة إلى أنه أكثر قابلية للذوبان من الهاليت، ولذلك لا يترسب إلا بعد الهاليت بكثير وعندما يتبخر الجزء الأكبر من الماء الأصلي، وهذا هو السبب في ندرة رواسب السيلفيت. وهناك أملاح أخرى للبوتاسيوم توجد مع السيلفيت في رواسبه ولكنها معادن نادرة، كذلك يمكن استخلاص أملاح البوتاسيوم من منتجات الملاحات.

وبالرغم من أن البوتاسيوم هو سابع العناصر شيوعا في القشرة الأرضية ويبلغ متوسط نسبة البوتاش (أكسيد البوتاسيوم) فيها حوالي ٣,١ ٪، كما أنه من العناصر الرئيسية للتربة الزراعية، إلا أن الإنسان لم يجد حتى الآن استخدام للبوتاسيوم في الصورة الفلزية، ولكن أملاح البوتاسيوم لها استخدامات كثيرة أهمها كسماد للتربة الزراعية حيث أن البوتاسيوم لازم لعملية التمثيل الضوئي في النباتات وهو أيضا لازم للعمليات الحيوية في باقي الأحياء، ويمثل هذا الاستخدام حوالي ٩٥٪ من إنتاج أملاح البوتاسيوم العالمي. أما الاستخدامات الأخرى فهي:

١- استخدام كبريتات البوتاسيوم والألومنيوم ودايكرومات البوتاسيوم فى الصباغة والطباعة على المنسوجات وتنقية المياه وطلاء الفلزات وأغراض أخرى.

٢- استخدام نترات البوتاسيوم فى صناعة المتفجرات.

٣- استخدام سيانور البوتاسيوم فى استخلاص الذهب من ركازاته.

وتوجد أهم رواسب السيلفيت مع المتبخرات المشهورة فى منطقة ستاسفورد بألمانيا ومع رواسب الحقب البرمى فى بعض الولايات الأمريكية وفى الاتحاد السوفيتى السابق. وقد بلغ مجمل إنتاج أملاح البوتاسيوم العالمى فى عام ١٩٨٧ حوالى ٥٢ مليون طن، وكان ٩٠٪ منها سيلفيت و٤٪ منها كبريتات بوتاسيوم والباقى أملاح أخرى، وقد استخدم حوالى ٩٥٪ من هذا الإنتاج كسماد مباشرة أو بخلطه مع مواد التسميد الأخرى.

٤- معادن وأملاح النتروجين (النترات)

النتروجين هو العنصر الثالث اللازم للسماد، ويُعطَى للأرض الزراعية فى صورة أملاح نتروجينية أهمها النترات. ومعظم أملاح النترات شديدة الذوبان فى الماء لذلك فإنها لا تتكون إلا بالتبخير الشديد فى المناطق القارية جدا، ونادرا ما توجد فى صخور قديمة لسهولة ذوبانها فى الماء. وأهم هذه المعادن هوو النتر الصودى soda niter وتركيبه نترات الصوديوم $NaNO_3$ ويسمى أيضا ملح شيلى، ويشبه الكالسيت إلى حد ما فى شكله البلورى ويوجد على هيئة كتلية أو على هيئة قشور أو راقات وصلادته ١-٢، ووزنه النوعى ٢,٢٩ وله بريق زجاجى وهو عديم اللون

أو له ألوان تتراوح من الأبيض إلى البنى أو الرصاصى ويتميع بسهولة وسهل الانصهار. وهو نادر الوجود إلى حد ما، ولكن توجد له رواسب كثيرة فى صحراء شيلى وبوليفيا حيث تكونت نتيجة تبخر المياه الجوفية المحملة بالنترات وهى إحدى طرق تكون المتبخرات؛ فكثيرا ما يحدث رشح للمياه الجوفية فى السهول والوديان المنخفضة، وعندما يتبخر هذا الرشح فإنه يترك ما يكون ذائبا فيه من الأملاح على هيئة متبخرات، وباستمرار الرشح والتبخر يزداد سمك المتبخرات، وتمتد هذه الرواسب لمسافات طويلة فى المنخفضات التى تقع بين التلال الساحلية وجبال الأنديز، وتوجد فى مصر أملاح النترات مختلطة برواسب طينية على ضفاف النيل بين قنا وإدفو ويستخدمها المزارعون كسماد. كذلك توجد أملاح النترات فى الطبقات الملحية التى تتكون على هيئة قشور فى السهول الصحراوية نتيجة تجمع مياه السيول وتبخرها، وفى هذه الحالة تكون الأملاح مختلطة بملح الطعام والجبس والرمل الناعم والغرين.

وقد كان النتر الصودى المصدر الوحيد للسماد الأزوتى على مدى عشرات السنين منذ بداية استخدامه فى عام ١٨٢٥، ولكن بعد تصنيع أملاح النترات بتثبيت النتروجين الجوى أصبح لا يشكل إلا نسبة ضئيلة من إنتاج هذه الأملاح حاليا.

٥- النطرون natrun

النطرون هو كربونات الصوديوم المائية ويوجد على هيئة تجمعات بلورية ذات هيئة منشورية فى طبقات رقيقة وصلادته حوالى ١ أو تزيد قليلا ووزنه النوعى حوالى ١,٥ وبريقه زجاجى ومكسره محارى ولونه

أبيض أو عديم اللون غالبا، وقد يكون رماديا أو مائلا إلى الاصفرار فى حالة وجود شوائب. ويتميز النطرون بمذاقه القابض وشدة ذوبانه فى الماء ليعطى محلولا قلويا ويتفاعل بشدة وفوران مع الأحماض مع تصاعد ثانى أكسيد الكربون وينصهر بسهولة فى درجات الحرارة المنخفضة. وتوجد رواسب النطرون على هيئة متبخرات تتكون من البحيرات المرة التى تحتوى مياهها على أملاح كربونات الصوديوم ومن أمثلتها المتبخرات فى وادى النطرون بشمال الصحراء الغربية المصرية، كما توجد مثل هذه الرواسب حول بحيرة أوينز Owens Lake وبحيرة مونو Mono Lake فى كاليفورنيا بأمريكا.

٦- البورقة (البوراكس) borax

من المعادن النادرة إلى حد ما ويوجد على هيئة تجمعات منشورية كتلية وتتراوح صلادته من ٢ إلى ٢,٥ ووزنه النوعى ١,٧ وبريقه زجاجى ومذاقه قلوى ويتكون من بورات الصوديوم المائية، وأهم استخدامات له فى المطهرات والمواد الحافظة للحوم والأسماك وكمادة مصهرة وكذلك فى بعض الصناعات، ويوجد مصاحبا لبعض المتبخرات التى تتكون من البحيرات.

الفصل الثالث عشر

الفوسفات والرمال السوداء

الفوسفات والرمال السوداء خامتان معدنيتان لهما وضع خاص فى مصر بصفة خاصة وفى الوطن العربى بصفة عامة، ولذا أُفْرِدَ لهما فصل خاص بالرغم من عدم وجود أى تشابه أو علاقة بينهما، ولكننى أشعر بأن أى مصرى أو عربى بصفة عامة يجب أن يعرف عنهما حدا أدنى من المعرفة وهذا ما حاولت أن أضعه فى هذا الفصل.

١- معادن وخامات الفوسفات

الفوسفور هو أحد العناصر الثلاثة التى يجب تعويضها للأرض الزراعية عن طريق الأسمدة، فهو من العناصر الرئيسية للحياة النباتية والحيوانية، ويحصل النبات على حاجته من الفوسفور من التربة مباشرة، أما الحيوانات وكذلك الإنسان فإنه يحصل على احتياجه من الفوسفور من غذائه النباتى مباشرة أو من غذائه الحيوانى الذى يحصل عليه بالتالى من النبات، ويوجد الفوسفور فى الأجسام الحيوانية فى العظام أساسا، وعندما يموت الحيوان فإن ما يحتويه جسده من الفوسفور يعود إلى الأرض، ولكن فى صورة غير قابلة للذوبان فلا يستطيع النبات الاستفادة منه مرة أخرى، كذلك فإن زراعة المحاصيل تستنزف الفوسفور الموجود فى التربة وتؤدى إلى تدهور خصوبتها وإنتاجيتها، ولابد من تعويضه بالأسمدة الفوسفاتية التى تصنع من رواسب الفوسفات، لذلك فإن حوالى ٩٠٪ من الإنتاج العالمى

لخامات الفوسفات يستخدم فى صناعة الأسمدة، أما ال١٠٪ الباقية فتستخدم فى الصناعات الكيميائية المختلفة لإنتاج الأملاح الفوسفاتية التى تستخدم فى مختلف الصناعات الكيميائية مثل المنظفات والمبيدات الحشرية والمشروبات الغازية ومعجون الأسنان وخلافه. ويعرض السياق التالى أهم المعلومات الأساسية عن رواسب الفوسفات وتصنيع الأسمدة الفوسفاتية منها.

تواجد الفوسفور فى القشرة الأرضية:

يوجد الفوسفور أصلا فى عدة معادن أهمها معدن الأباتيت الذى يتكون من فوسفات الكالسيوم المائية $Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)$ التى تحتوى على أيونات الإيدروكسيل والفلور والكلور بنسب متفاوتة، وهذا المعدن يعتبر من المعادن المقاومة للتحلل فلا يذوب فى الماء بسهولة؛ ولذلك لا يمكن للنباتات امتصاص الفوسفور منه مباشرة، ولكن عوامل التعرية تفتته وتحمله إلى المحيط حيث تحيله إلى مركبات فوسفاتية ذائبة يمكن للأحياء البحرية استخلاصها من ماء البحر مباشرة، كما يمكن ترسيبها بالطرق الكيميائية أو البيولوجية مع الطبقات الرسوبية لتكوين ما يسمى "رواسب الفوسفات". وتوجد رواسب الفوسفات على هيئة طبقات رسوبية مصاحبة للصخور الرسوبية الأخرى مثل الحجر الجيرى والحجر الرملى والطفلة، ولذلك يوجد تدرج تام فى التتابعات الرسوبية بين طبقات الفوسفات وطبقات الصخور الرسوبية الأخرى، فنجد مثلا الفوسفات الجيرى أو الفوسفات الرملى أو الفوسفات الطفلى ،كذلك نجد الحجر الجيرى الفوسفاتى أو الطفلة الفوسفاتية.... الخ.

التركيب المعدني والكيميائي لرواسب الفوسفات:

يتكون صخر الفوسفات من حبيبات فتاتية متنوعة تتراوح أبعادها ما بين بضعة ملليمترات وبضعة سنتيمترات، وملتحمة مع بعضها بمواد لاحمة. وتشمل الحبيبات الفتاتية ثلاثة نوعيات رئيسية هي:

١- الكلوفان collophane: وهو المادة الفوسفاتية الرئيسية في الرواسب الفوسفاتية، وهو إحدى صور معدن الأباتيت التي تترسب في مياه المحيط ويوجد على هيئة أقراص مجهرية عدسية الشكل.

٢- بقايا بعض الأحياء المائية مثل عظام الأسماك وأسنان القرش والأصداف، أو نفايات هذه الأحياء، وهذه البقايا تحتوى على نسبة عالية من الفوسفور وتزيد من جودة الرواسب.

٣- بعض الحبيبات الفتاتية مثل الرمل وفتات الحجر الجيري.

أما المادة اللاحمة فهي إما جيرية أو طفلية أو سليكاتية أو رملية وفي العادة توجد كل هذه المواد في طبقات الفوسفات بنسب مختلفة، ولذلك تختلف درجة جودة الرواسب الفوسفاتية تبعا لذلك.

وتوجد معظم رواسب الفوسفات الاقتصادية على هيئة طبقات رسوبية يتراوح سمكها غالبا ما بين حوالى متر إلى بضعة أمتار وتمتد أفقيا إلى مسافات تصل إلى عدة كيلومترات، ويتم استخراجها غالبا بطريقة المنجم المكشوف حيث تتم إزاحة الصخور التي تغطيها ثم تجريفها بالكراكات، وهذه من أقل طرق التنجيم تكلفة، إلا أنه في بعض الحالات يتم تتبع الطبقات الفوسفاتية الغنية بالتنجيم التحت سطحي وقد اصطلح على إطلاق تعبير خاص على طبقات الفوسفات الاقتصادية وهو الفوسفوريت phosphorite.

ومن ناحية التركيب المعدني والكيميائي تحدد جودة خام الفوسفات بنسبة احتوائه على مركبات الفوسفور ونسبة الشوائب. وتقدر نسبة مركبات

الفوسفور على أساس النسبة المئوية لخامس أكسيد الفوسفور P_2O_5، التي لا يجب أن تقل عن حوالي ٢٠٪، وإلا أصبح الصخر غير اقتصادي ويخرج عن نطاق الفوسفوريت، وتصل نسبة خامس أكسيد الفوسفور أقصى حد لها في حدود ٥٠٪، وهناك مقياس آخر لجودة الخام يسمى فوسفات العظم الجيري bone phosphate of lime (BPL) وهو تعبير عن محتوى الصخر من ثلاثي فوسفات الكالسيوم tricalcium phosphate ويرمز له بالرمز TCP، ويمكن تحويل نسبة خامس أكسيد الفوسفور إلى محتوى ثلاثي فوسفات الكالسيوم BPL أو TCP بالتقريب بالضرب في ٢,٢؛ فمثلا الخام الذي يحتوي على ٣٢٪ خامس أكسيد الفوسفور يحتوي على ٧٠٪ ثلاثي فوسفات الكالسيوم. وأهم الشوائب التي تؤثر في جودة الفوسفوريت في الأسواق العالمية هي نسبة الحديد والألومنيوم، حيث لايجب أن يزيد مجموعهما عن ٤٪ لأن زيادتهما تؤدي إلى أضرار بالغة في مصانع المعالجة الكيميائية لإنتاج الأسمدة الفوسفاتية، وقد يؤدي محتوى الخام من الحديد والألومنيوم إلى رفضه في الأسواق العالمية بغض النظر عن مدى احتوائه على خامس أكسيد الفوسفور. ومن العوامل المهمة أيضا هو نسبة أكسيد المغنيسيوم التي يجب ألا تتعدى ٠,٢٥٪، والنسبة بين أكسيد الكالسيوم وخامس أكسيد الفوسفور التي يجب ألا تتعدى ١,٦٪ وإلا أصبح استهلاك الأحماض أثناء التصنيع مكلفا جدا. ومن المشاكل التي قد تنشأ أثناء تصنيع الأسمدة الفوسفاتية هو تَكَوّنْ حامض الهيدروفلوريك من الفلور الذي يحتويه الكلوفان إذا كانت نسبته عالية. كذلك بدأت الأسواق العالمية مؤخرا وضع شروط للحد الأقصى لنسب بعض العناصر الثقيلة في خامات الفوسفات مثل الكادميوم واليورانيوم، حيث أن معظم هذه العناصر تتراكم في التربة وتتركز في النباتات ومن ذلك تصل إلى غذاء الإنسان وتسبب له أضرارا كثيرة.

وبغض النظر عن مواصفات الخام الخارج من المنجم، فإن أسواق الفوسفات لا تقبل الخام الذى يقل محتواه من ثلاثى فوسفات الكالسيوم عن ٦٠٪ تقريبا، ولذلك نجد أن معظم إنتاج مناجم الفوسفات يستلزم بعض المعالجات البسيطة قبل إعداده للتصدير أو التصنيع المحلى لتخليصه من بعض الشوائب ورفع نسبة خامس أكسيد الفوسفور إلى الحد المطلوب إن لم تكن كذلك، وتشمل أهم تلك المعالجات العمليات الآتية:

١- التكسير والطحن والغربلة: وبها يمكن فصل كثير من المواد غير الفوسفاتية مثل الطفلة وبعض المواد السليكاتية، ويمكن الاستعانة بالتنقية اليدوية أحيانا فى مراحل التكسير الأولى.

٢- الغسيل بالماء العذب: وبه يمكن تخليص الخام من الأتربة الناعمة وبعض الأملاح الضارة مثل ملح الطعام (كلوريد الصوديوم).

٣- التحميص (التسخين) ثم الغسيل بالماء: وبه يمكن تخليص الخام من كربونات المغنيسيوم والكالسيوم بتحويلهما الى أكسيد المغنيسيوم والكالسيوم بالتسخين ثم إذابتهما فى الماء بالغسيل.

٤- معالجات أخرى: مثل الفصل الكهربى أو التعويم، وهى عمليات مكلفة أكثر من العمليات البسيطة السابقة ولا تستخدم إلا فى حالات خاصة وتستلزم دراسة جدوى متأنية قبل الإقدام عليها.

تصنيع الفوسفات:

هناك ثلاثة أفكار رئيسية تدور حولها كل أعمال تصنيع خامات الفوسفات بعد تجهيزها وإعدادها وهى:

١- إضافة ضعف الكمية المكافئة من حامض الكبريتيك إلى الخامة لتحويلها إلى سماد "السوبر فوسفات"، حيث يتفاعل الحامض مع الخامة لتكوين أحادى فوسفات الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم التى تسمى تجاوزا الجبس. وبهذا

يمكن تحويل خامة الفوسفات غير القابلة للذوبان فى الماء إلى مادة فوسفاتية قابلة للذوبان فى الماء مع الجبس، ويعرف هذا الخليط تجاريا باسم سماد السوبرفوسفات، وتتم العملية فى الحالة الجافة تماما بأن تفرد الخامة فى ساحات مستوية وترش عليها الكمية المحسوبة من حامض الكبريتيك وتترك الوقت المناسب حتى يتم التفاعل تماما، وتعبأ وتسوق بعد ذلك. ويحتوى هذا المخلوط على نسبة تتراوح من ١٤ إلى ٢٠٪ من خامس أكسيد الفوسفور، ولكنها تحتوى أيضا على الجبس الذى يزيد من تكلفة التعبئة والنقل بلا فائدة، كذلك لا يمكن التخلص من أى شوائب أخرى موجودة فى الخامة الأصلية.

٢- تحويل الخامة إلى حامض فوسفوريك بإضافة كمية من حامض الكبريتيك تعادل مرة ونصف الكمية السابقة، فتتحول الخامة إلى حامض فوسفوريك وجبس حيث يرشح حامض الفوسفوريك الناتج حتى يتم التخلص من الجبس ثم يستخدم حامض الفوسفوريك بعد ذلك لإضافته إلى الكمية المكافئة من الخامة الأصلية لإنتاج أحادى فوسفات الكالسيوم فقط (بدون جبس)، ويعرف هذ المنتج تجاريا باسم سماد ثلاثى السوبرفوسفات، ويتميز عن السوبرفوسفات العادى بعدم احتوائه على الجبس وبنسبة من خامس أكسيد الفوسفور حوالى ٥٠٪. كما تتميز هذه الطريقة بأنها تسمح بتنقية حامض الفوسفوريك من أى شوائب كانت موجودة فى الخامة الأصلية، كما تسمح أيضا بتصنيف الخامة الأصلية إلى درجتين فى الجودة، تستخدم الدرجة الأقل جودة والمحتوية على الشوائب فى المرحلة الأولى لإنتاج حامض الفوسفوريك، بينما تستخدم الخامة الأكثر جودة والخالية من الشوائب فى المرحلة الثانية لإنتاج السماد، وهكذا يمكن التخلص من كل الشوائب أو تخفيفها إلى حد كبير.

٣- تستخدم الخامة لإنتاج حامض الفوسفوريك وبعد ذلك يضاف الحامض إلى الأمونيا لإنتاج سماد فوسفات النشادر الذى يعتبر سمادا ثنائيا يمد النبات بالفوسفور والنتروجين فى آن واحد. كذلك يمكن تسويق حامض الفوسفوريك مباشرة أو استخدامه لإنتاج الأملاح الفوسفاتية المختلفة لأغراض الصناعة.

٤- يمكن أيضا اختزال خام الفوسفات مباشرة فى أفران كهربائية خاصة باستخدام فحم الكوك، وينتج عن ذلك عنصر الفوسفور الذى يستخدم مباشرة فى أغراض صناعية متعددة.

اليورانيوم فى الفوسفات:

لوحظ فى أوائل القرن الحالى أن بعض خامات الفوسفات تحتوى على نسب عالية من اليورانيوم تصل إلى ٣٠٠ جزء فى المليون (٣٠٠ جرام فى الطن)، وهى تعتبر نسبة عالية إذا تم استخلاصها كناتج ثانوى أثناء تصنيع الأسمدة. وفى أغلب الأحيان يوجد اليورانيوم فى معادن الفوسفات كإحلالات أيونية محل الكالسيوم، وفى بعض الحالات توجد العناصر الأرضية النادرة أيضا. ومنذ اكتشاف اليورانيوم فى الفوسفات تعمل كثير من الدول على استخلاص هذا اليورانيوم أثناء تصنيع السماد كناتج ثانوى، وقد توصلت دول كثيرة إلى نتائج باهرة فى هذا المجال مثل أمريكا و بلجيكا والمغرب وتونس. ومما هو جدير بالذكر أن تونس توصلت إلى تصميم طريقة خاصة بها فى استخلاص اليورانيوم من خاماتها. وقدرت الوكالة الدولية الطاقة الذرية فى عام ١٩٨٩ أن احتياطى اليورانيوم فى خامات الفوسفات القابلة للاستخراج هو حوالى ٧ مليون طن، يوجد منه فى المغرب وحدها حوالى ٦,٥ مليون طن، وفى الأردن ١٢٣ ألف طن، وفى سوريا حوالى ٨٠ ألف طن وفى مصر حوالى ٦٠ ألف طن، والباقى فى عشر دول أخرى، وهو احتياطى ضخم إذا قورن بالاحتياطى العالمى لليورانيوم من خاماته التقليدية الذى قدر

فى نفس العام بما مجموعه حوالى ٣,٦ مليون طن. وحسب الأوضاع الحالية يمكن استخلاص اليورانيوم من الفوسفات بصورة اقتصادية أثناء إنتاج حامض الفوسفوريك إذا كانت النسبة تزيد عن ٦٠ جزء فى المليون وطاقة المصنع حوالى ١٢٠ إلى ١٥٠ ألف طن حامض سنويا. وهناك دول تستورد حامض الفوسفوريك خصيصا لاستخراج محتواه من اليورانيوم لعدم امتلاكها لمصادر أخرى له مثل بلجيكا التى تستورد حامض الفوسفوريك من المغرب. ويعتبر استخراج اليورانيوم من حامض الفوسفوريك تنقية له قبل استخدامه فى إنتاج الأسمدة الفوسفاتية، حيث يعتبر اليورانيوم من الشوائب غير المرغوبة فى الأسمدة لأن تكرار استخدامها يزيد من نسبة اليورانيوم فى الأرض الزراعية وهذه قد تنشأ عنها أضرار. ويمكن أيضا استخلاص اليورانيوم من خامات الفوسفات التى تختزل فى الأفران الكهربائية، فخبث الأفران slag الناتج من هذه الطريقة يحتوى على اليورانيوم الذى كان موجودا مع الفوسفات، ويمكن استخلاصه بسهولة بالشطف بالأحماض المخففة، ولكنها ليست عملية شائعة.

اقتصاديات خامات الفوسفات:

يبين جدول ١٣-١ الإنتاج والاحتياطى العالمى لخامات الفوسفات عام ١٩٩١ بالمليون طن. وقد تراوحت أسعار الفوسفات فى عام ١٩٩٢ ما بين ٢٠ دولار للطن إلى ٣١ دولار للطن حسب نسبة ثلاثى فوسفات الكالسيوم التى تتراوح من ٦٠ إلى ٧٤٪، وتعتبر خامات الفوسفات من أهم الخامات المعدنية فى الوطن العربى، فهى توجد على هيئة أحزمة ونطاقات تمتد من المغرب وموريتانيا فى الغرب إلى العراق فى الشرق وتبلغ احتياطياتها أكثر من أربعين مليار طن. كذلك تنتج الدول العربية ما يقارب ٤٠٪ من الإنتاج العالمى. ومن أحدث الاكتشافات الجديدة لخامات الفوسفات ما تم فى الشمال

الغربى للمملكة العربية السعودية منذ حوالى ١٠ سنوات خاصة فى منطقة طريف، والتى تعتبر امتدادا للخامات الأردنية، ولا زالت هناك مناطق أخرى فى الوطن العربى لم تستكشف بعد.

جدول ١٣-١. الإنتاج والاحتياطى العالمى لخامات الفوسفات عام ١٩٩١.

الدولة	الإنتاج	احتياطى مؤكد	احتياطى جيولوجى
المغرب	٢٢,٠	٥٩٠٠	٢١٤٤٠
تونس	٦,٦		٢٧٠
الأردن	٦,٠	٩٠	٤٨٠
أمريكا	٤٧,٠	١٢٣	٤٤٤٠
روسيا	٣٧,٠	١٣٣٠	١٣٣٠
الصين	١٨٠,٠	٢١٠	٢١٠
توجو	٢,٣		٦٠
السنغال	٢,٢		١٦٠
ج أفريقيا	٣,٢	٢٥٣٠	٢٥٣٠
بلدان أخرى	١٥,٥	٧٠٠	٨٧٠
المجموع	١٥٩,٨	١٢٠٠٠	٣٣٨٠٠

٢- الرمال السوداء

الرمال بصفة عامة هى مواد طبيعية مفككة تتكون من حبيبات شبه مستديرة قطرها أقل من ٢ مم، وأكثر تواجد الرمال فى الصحارى وعلى شواطىء البحار. وتتكون الرمال بتأثير عوامل التعرية على الصخور فى المناطق الجبلية حيث تفتتها وتحولها إلى فتات صخرى مفكك ثم تأتى عوامل النقل المختلفة -خاصة المياه الجارية والرياح - فتنقل هذا الفتات وتعيد ترسيبه فى الأماكن المنخفضة والمنبسطة. وتتكون النسبة العظمى من حبيبات الرمال من الكوارتز، وهو المعدن الذى يصنع منه الزجاج وتركيبه ثانى أكسيد السيليكون، ولكن تصاحب الكوارتز فى بعض الأحيان حبيبات معادن أخرى؛ والسبب فى ذلك هو أن الكوارتز من أكثر المعادن شيوعا فى صخور القشرة الأرضية وفى نفس الوقت من أكثر المعادن مقاومة للتحلل الكيميائى بعوامل التعرية التى تفتت الصخور. ولأن الكوارتز من المعادن ذات اللون الفاتح فإن الرمال النقية تتخذ لونا أبيضا، ولكن الرمال العادية يغلب عليها اللون الأصفر نتيجة صبغ الحبيبات ببعض أكاسيد الحديد. وهناك معادن أخرى تقاوم التحلل الكيميائى بدرجات مختلفة أثناء تجوية الصخور، وتحتفظ بهويتها عند تحررها من صخورها، ولكنها ليست شائعة مثل الكوارتز، ولذلك قد تتواجد مع الكوارتز فى الرمال بنسب متفاوتة حسب نسبتها الأصلية فى مصدر هذه الرمال ومدة وشدة العوامل الجوية التى أثرت عليها، وتشمل هذه المعادن بعض المعادن الاقتصادية ذات الثقل النوعى الكبير ويتميز بعضها أيضا باللون الداكن، ولكن لندرة مثل هذه المعادن فى الصخور العادية حيث توجد فيها على هيئة معادن إضافية، فإنها أيضا تكون نادرة فى الرمال. ونتيجة لظروف جيولوجية معينة تقوم عوامل النقل بتركيز تلك المعادن الثقيلة فى الرمال بنسب متفاوتة حيث تؤدى إلى إضفاء مسحة من السواد

على هذه الرمال، وكلما ازدادت نسبة المعادن الداكنة كلما ازداد ميل الرمال إلى اللون الأسود حتى تصل فى بعض الأحيان إلى رمال سوداء تماما.

ومن أهم العوامل التى تكوّن الرمال السوداء هى الأنهار الكبيرة، فهى تعمل على تفتيت الصخور عند منابعها ثم تنقل هذا الفتات مع مياهها لتعيد ترسيبه عند مصباتها، و خلال رحلتها الطويلة من المنبع إلى المصب تتحلل المعادن التى لا تقاوم عوامل التعرية وتتركز المعادن المقاومة، ومنها المعادن الثقيلة الداكنة. وعند المصب تتضافر الأمواج والتيارات البحرية لتركيز المعادن الداكنة فى الرمال الشاطئية، لذلك تنتشر الرمال السوداء فى مصر والهند واستراليا والبرازيل وأمريكا، وفى كل هذه الدول تعتبر الرمال السوداء ثروة قومية سهلة المنال.

اقتصاديات الرمال السوداء:

كثير من المعادن الثقيلة و الداكنة فى الرمال السوداء ذات أهمية اقتصادية كبيرة لأنها مصدر لكثير من الفلزات النادرة التى يتزايد الطلب عليها يوما بعد يوم فى كثير من الصناعات الحديثة، مثل صناعات الصلب والسبائك الحديدية ذات المواصفات الخاصة والخزف والحراريات والزجاج والبويات وشاشات العرض الملونة وتغليف قضبان الوقود النووى وأسياخ اللحام، ولذلك فإن أسعارها فى ازدياد مستمر. وهذه المعادن هى:

١ - الروتيل rutile: وتركيبه ثانى أكسيد التيتانيوم ويشكل أفضل المصادر للحصول على هذا الفلز، وهو من الفلزات الهامة فى صناعة السبائك والبويات وأسياخ اللحام والأصباغ وغيرها. ويتزايد الطلب على الروتيل يوما بعد يوم حتى أن بعض الدول التى تملك مصادره بدأت تضع القيود على تصديره حرصا على مستقبل صناعاتها التى تحتاج إليه، وقد وصل سعره حاليا إلى ما يزيد على ١٠٠٠ دولار للطن.

٢- الزيركون zircon: وتركيبه هو سليكات الزيركونيوم ويكاد يكون المصدر الوحيد للحصول على هذا الفلز كما أنه يستخدم بكثرة فى صناعات الحراريات والخزف والزجاج ويشكل أهم عنصر فى تصنيع أغلفة الوقود فى المفاعلات النووية.

٣- الإلمينيت ilmenite: وهو أكسيد الحديد والتيتانيوم معا، وبالرغم من إمكانية استخدامه لاستخلاص التيتانيوم والحديد إلا أنه ليس بأهمية الماجنيتيت بالنسبة للحديد أو بأهمية الروتيل بالنسبة للتيتانيوم لأن معالجته عملية صعبة جدا وتحتاج إلى استثمارات ضخمة.

٤- المونازيت monazite: ويتركب من فوسفات العناصر الأرضية النادرة وقليل من اليورانيوم والثوريوم . والعناصر الأرضية النادرة هى مجموعة من الفلزات نادرة الوجود وخصائصها الكيميائية متشابهة إلى حد بعيد مما يجعل فصلها عن بعضها عملية صعبة جدا وتحتاج إلى تكنولوجيا متقدمة، وقد سبق الحديث عنها فى الفصل التاسع. وإلى عهد قريب كانت تحتكرها قلة من الشركات العالمية العملاقة مثل شركة رون بولان الفرنسية التى نالت خبرة كبيرة فى فصل تلك الفلزات عن بعضها. ويعتبر المونازيت أهم مصدر لتلك الفلزات فى الوقت الحالى. صحيح أن هناك معادن أخرى تحتوى على هذه العناصر، ولكنها أيضا معادن نادرة تحتاج إلى عمليات تعدين مكلفة لاستخراجها من خاماتها قبل معالجتها لاستخلاص الفلزات منها، أما معادن الرمال السوداء فهى سهلة المنال ولا تحتاج إلى عمليات تعدين مكلفة. ويمكن الحصول على كميات لا بأس بها من الثوريوم واليورانيوم من المونازيت كناتج ثانوى من خلال استخلاص العناصر النادرة.

٥- الماجنيتيت magnetite: وهو أكسيد الحديد المغناطيسى ويشكل أحد المعادن الرئيسية فى خامات الحديد.

٦- الكاسيتيريت cassiterite: وهو ثاني أكسيد القصدير ويعتبر المصدر الأول لهذا الفلز الغني عن التعريف والذي له استخدامات صناعية عديدة مثل أعمال اللحام وصناعة السبائك.

٧- معادن أخرى: هناك معادن أخرى قد تتواجد مع المعادن السابقة في الرمال السوداء، ولكنها تعتبر نواتج ثانوية مثل الكروميت وهو مصدر للكروم، والجارنيت ويستخدم في عمل مساحيق وأوراق الصنفرة، والذهب و وغيره.

وتختلف نسب المعادن الاقتصادية في الرمال السوداء اختلافا كبيرا من مكان لآخر؛ فهي تعتمد على طبيعة الصخور الأصلية التي تشكل مصدر تلك المعادن وعلى البيئات الجيولوجية لعوامل النقل والترسيب التي تؤدي إلى تركيزها، لذلك يحتاج الاستغلال الأمثل للرمال السوداء إلى دراسات معدنية مكثفة لمناطق تواجدها حتى يمكن بيان توزيع تلك المعادن ونسبها بالدقة المناسبة لوضع الخطط المثلى لاستغلالها بأقصى كفاءة. ومن ناحية أخرى تعتبر الرمال السوداء ثروة هائلة سهلة المنال لأنها مواد مفككة لا تحتاج لعمليات معقدة في استخراجها ونقلها وفرزها للحصول على مركزات المعادن الاقتصادية.

ويعتمد التقييم الاقتصادي للرمال السوداء على عاملين : الأول هو نسبة المعادن الثقيلة مجتمعة في الرمال الأصلية، ثم نسبة المعادن الاقتصادية المختلفة بالنسبة لمجموعة المعادن الثقيلة، وذلك لأن عملية المعالجة الأولية للرمال السوداء تتم على مرحلتين: يتم في الأولى فصل المعادن الثقيلة ذات القيمة الاقتصادية من المعادن غير الاقتصادية بطرق سهلة نسبيا، وفي الثانية تتم معالجة ركاز المعادن الاقتصادية بوسائل متعددة وفي خطوات متتالية لفصل تلك المعادن وتنقيتها كل على حدة، بعد ذلك يتم استخدام تلك

المعادن الاقتصادية أو تصديرها كما هى مباشرة، أو تدخل فى معالجات كيميائية لاستخلاص فلزاتها.

فصل المعادن الاقتصادية من الرمال السوداء:

تتميز الرمال السوداء عن معظم الخامات المعدنية الأخرى بأنها لا تحتاج إلى عمليات تجهيز قبل فصل المعادن الاقتصادية من الصخور التى تحتويها مثل خامات النحاس والقصدير والذهب مثلا؛ فالرمال السوداء مواد مفككة ملقاة على الشواطىء ولا تحتاج إلا إلى كراكات لكى تبدأ عليها عمليات الفصل والتركيز لمعادنها الاقتصادية. وتقوم عمليات فصل المعادن الاقتصادية من الرمال السوداء على خواصها الطبيعية وهى:

١- الثقل النوعى أو الكثافة:

جميع المعادن الاقتصادية فى الرمال السوداء معادن يزيد ثقلها النوعى عن ٤ (الثقل النوعى للماء ١)، أما المعادن غير الاقتصادية (ويطلق عليها اسم المعادن الغثة) فإن وزنها النوعى لا يزيد كثيرا عن ٣؛ ولذلك يكون من السهل فصل المعادن الاقتصادية كمجموعة واحدة عن المعادن الغثة بإحدى طرق الفصل الجاذبى باستخدام الماء. وأكثر هذه الطرق شيوعا هى استخدام أجهزة تسمى حلزونيات همفرى Humphry spirals التى تعتمد على انسياب تيار مائى يحمل الرمال على مجرى حلزونى بحيث تؤدى قوة الطرد المركزية إلى فصل المعادن الثقيلة عن المعادن الخفيفة. وعادة ما تتم هذه العملية على الشاطئ بالقرب من موقع الخامة لتجنب عمليات النقل المكلفة لأن المعادن الاقتصادية تشكل نسبة قليلة من الرمال السوداء عادة، ففى المتوسط تحتوى الرمال المصرية على ٣٪ من هذه المعادن، ولكنها تزيد فى بعض الأماكن المحدودة إلى ٢٠٪ أو أكثر من المعادن الاقتصادية. وقد تطورت تكنولوجيا الفصل الجاذبى بواسطة كراكات خاصة يمكنها معالجة

آلاف الأطنان على الشاطىء مباشرة، وتعتبر استراليا من الدول الرائدة فى هذا المجال. بعد ذلك يتم نقل ركاز المعادن الثقيلة إلى وحدات الفصل التالية الأكثر تعقيدا، وبالطبع كلما كانت مسافة النقل أقصر كلما كانت التكلفة أقل.

٢- الفصل المغناطيسى:

تختلف معادن الرمال السوداء الاقتصادية اختلافا كبيرا فى تأثرها بالمجال المغناطيسى ، فالماجنيتيت (أكسيد الحديد) هو أكثرها قابلية للمغنطة يليه الإلمنيت ثم باقى المعادن الأخرى ، ومنها معادن لا تتأثر بالمجال المغناطيسى تقريبا. ويعتمد الفصل المغناطيسى على إمرار ركاز المعادن محمولا على سير ناقل يمر به على عدة مجالات مغناطيسية يجرى التحكم فى شدتها حسب الحاجة، وفى أول الخط الذى يمر به السير الناقل يكون المجال ضعيفا بحيث يجذب اليه الماجنيتيت فقط، ثم يليه مجال آخر أكثر شدة بحيث يجذب إليه الإلمنيت فقط، وهكذا يمكن فصل الركاز الأصلى إلى ركازات جزئية يحتوى كل منها على معدن رئيسى بنسبة عالية. ويمكن بهذه الطريقة فصل الماجنيتيت والإلمنيت فصلا تاما تقريبا وبنقاوة عالية إلى حد كبير، أما باقى المعادن فتحتاج إلى الخطوات التالية.

٣- الفصل الكهربى أو الإلكتروستاتيكى:

ويعتمد هذا النوع من الفصل على اختلاف الخواص الكهربية للمعادن، ويتم تقريبا بنفس الطريقة التى يتم بها الفصل المغناطيسى ولكن بإمرار المعادن خلال مجالات كهربية يتم التحكم فيها بأجهزة خاصة حتى يمكن فصل كل معدن على حدة. وفى هذه الخطوة يتم فصل المعادن الثلاثة الروتيل والزيركون والمونازيت وبعضا من المعادن الأخرى.

٤- طرق أخرى:

هناك عدة طرق فيزيائية أخرى تستخدم أكثر من خاصية فيزيائية واحدة في نفس الوقت وتجرى على مركزات المعادن المنفردة لتنقيتها من الشوائب وتوصيلها إلى درجة عالية من النقاوة لبعض الاستخدامات الصناعية التي تستلزم مواصفات خاصة.

وهكذا يتم فصل المعادن الاقتصادية من الرمال السوداء وبعدها يتم تسويقها مباشرة، أو معالجة كل معدن على حدة لاستخلاص الفلزات التي يحتوى عليها، مثل استخلاص العناصر الأرضية النادرة والثوريوم واليورانيوم من المونازيت.

الرمال السوداء في مصر:

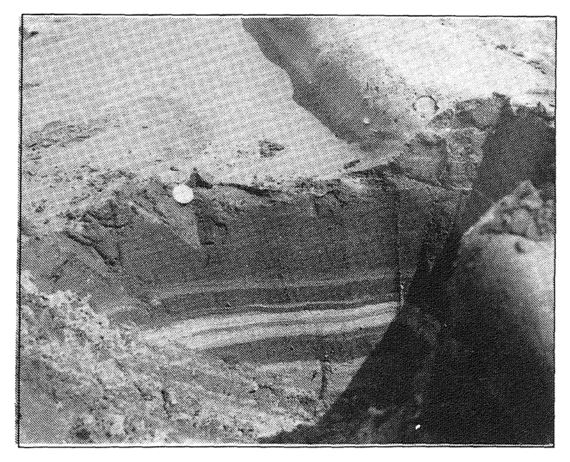
الرمال السوداء من مصادر الثروة المعدنية في مصر وتوجد في عدة مناطق في الشواطئ الشمالية من رشيد إلى رفح على هيئة رمال شاطئية (شكل ١٣-١) أو كثبان رملية متاخمة للشواطئ. وتعتمد اقتصاديات الرمال السوداء المصرية على المعادن الرئيسية الثلاثة: الروتيل والزيركون والمونازيت، بالإضافة إلى الإلمنيت والماجنيتيت. ولقد قام الجيولوجيون المصريون على مدى الثلاثين سنة الماضية بدراسات رائدة في كل مجالات الرمال السوداء.

تاريخ استخراج معادن الرمال السوداء المصرية:

بدأ استغلال الرمال السوداء في مصر في مصنع أنشأه بعض الأجانب في الاسكندرية في الفترة من ١٩٣٢ إلى ١٩٣٦ ثم توقف خلال الحرب العالمية، وفي أعقابها أعيد تشغيله مرة أخرى. وفي عام ١٩٥٧ تكونت الشركة



شكل ١٣ – ١ : الرمال السوداء الشاطئية على ساحل قرية ابو خشبة بمحافظة كفر الشيخ بمصر



شكل ١٣ - ٢ : التركيزات السطحية العالية للرمال السوداء الشاطئية على ساحل قرية ابو خشبة بمحافظة كفر الشيخ فى مصر

المصرية لمنتجات الرمال السوداء التى اهتمت باستغلال العدسات ذات التركيز العالى من المعادن الاقتصادية، وكان يتم تجميع الرمال المركزة يدويا من الشاطىء قرب رشيد ثم نقلها فى ترعة المحمودية إلى المصنع فى حجر النواتية بالاسكندرية حيث يفصل منها الروتيل والزيركون ويصدرا إلى أوروبا. ولكن الشركة صادفتها بعض الصعوبات من ناحية التشغيل وتطوير معداتها، ولم يكن هناك طلب كبير على منتجات الرمال السوداء فى ذلك الوقت، مما جعل الشركة تتوقف عن الإنتاج فى عام ١٩٦٩ وتتحول إلى مشروع فى الهيئة العامة للتصنيع. انتقلت مسئولية الرمال السوداء بعد ذلك إلى هيئة المساحة الجيولوجية التى قامت بعمل دراسات لحساب الاحتياطيات واقتصاديات التشغيل، وعلى الأخص اقتصاديات رفع جودة الإلمنيت إلى المواصفات العالمية المقبولة حتى يمكن تصديره، وبعد ذلك تولت هيئة المواد النووية هذه المسئولية لأن الرمال السوداء تحتوى على كثير من المواد النووية أهمها الثوريوم واليورانيوم والعناصر الأرضية النادرة فى المونازيت، وعلى الزيركونيوم (الذى يستخدم فى تصنيع أغلفة قضبان الوقود النووى) فى الزيركون. واستمرت هيئة المواد النووية فى الدراسات المكثفة على كل جوانب الرمال السوداء والتى لا زالت جارية حتى الآن. وقطعت هيئة المواد النووية شوطا بعيدا فى هذه الدراسات فيما يختص بحساب الاحتياطيات وإجراء عمليات فصل المعادن الاقتصادية وعمليات فصل ركازات المعادن المختلفة، وزادت على ذلك بتطوير عمليات فصل العناصر الأرضية النادرة واليورانيوم والثوريوم من المونازيت، وكذلك فصل بعض هذه العناصر الأرضية النادرة على حدة بنقاوة عالية.

الخاتمة

فى نهاية جولتنا فى مملكة المعادن يجدر بنا أن نسترجع سويا عزيزى القارىء بإيجاز شديد المشاهد التى مررنا بها ونستخلص منها أهم النقاط التى يمكن الخروج بها من هذه الجولة الشيقة؛ فبعد المقدمة استعرض الفصلين الأول والثانى بعض المعلومات الأساسية عن المعادن وخصائصها وتقسيمها وانتهى هذا الاستعراض الموجز بتقسيم استخدامات المعادن إلى استخدامات فلزية واستخدامات لافلزية، حيث تختص الأولى باستخلاص الفلزات من المعادن وتختص الثانية بكل الاستخدامات الأخرى، مع إعطاء تقديم مبسط لهذه الاستخدامات التى تم تفصيلها فى الفصول التالية. وقد كانت النقطة الأساسية التى أردت أن أوصلها لك عزيزى القارىء فى هذين الفصلين هى مفهوم "المعدن" فى عرف الجيولوجيين، والاختلاف الكبير بينه وبين "الفلز"، ومدى الالتباس الذى قد ينشأ عند الخلط بين المفهومين فى الاستخدام الدارج لكلمة معدن، ولذلك ركزت على تعريف المعدن التعريف الجيولوجى الدقيق، ولذلك أيضا أرجو منك عزيزى القارىء أن يكون واضحا فى ذهنك المعنى الذى تقصده عند استخدامك لكلمة "معدن" فى حديثك العادى، وأن تعاون الجيولوجيين فى توضيح الفرق بين مفهومى المعدن والفلز لدى معارفك حتى نعمل على إزالة اللبس فى هذا المجال. وقد كنت أود أن أسترسل بعض الشىء فى علم البلورات خلال الفصلين الأولين، ولكنى أحجمت عن ذلك فى آخر لحظة لكى لا أطيل فى الأسس النظرية لدراسة المعادن التى قد لا تروق لبعض القراء، بالرغم من أننى أشرت إلى الفصائل البلورية عند وصف بعض المعادن لعل ذلك يدفع القارىء إلى الرجوع إلى بعض المراجع المذكورة ليستزيد من المعرفة عن المعادن، ولن يندم على ذلك. وجاءت

الفصول السبعة التالية من الفصل الثالث إلى الفصل التاسع لتعرض الاستخدامات الفلزية ولتبين المعادن المستخدمة فى استخلاص الفلزات المختلفة وكيفية تواجد هذه المعادن فى تركيزات أو خامات تسمح بالاستخلاص الاقتصادى لهذه الفلزات، كما تعرض أهم خصائص الفلزات نفسها وأهم مجالات استخداماتها، مع إعطاء بعض البيانات المبسطة عن توزيع هذه الركازات فى العالم وأهم مناطق تواجدها واقتصادياتها. وقد بينت هذه الفصول السبعة أهمية المعادن للإنسان من ناحية أنها المصدر الوحيد للفلزات التى لا يخفى على أحد مدى اعتماد حياة الإنسان عليها واستحالة استمرار الحياة بصورتها الحالية بدونها. وجاءت بعد ذلك الفصول الأربعة الأخيرة من الفصل العاشر إلى الفصل الثالث عشر والأخير لتعرض بعض الاستخدامات اللافلزية للمعادن. وبالرغم من أن الاستخدامات الفلزية قد حظيت بضعف المساحة التى شغلتها الاستخدامات اللافلزية تقريبا، إلا أن ذلك لا يعنى أن الثانية أقل أهمية من الأولى، ولكن ذلك قد يرجع إلى أن الاستخدامات الفلزية يمكن حصرها بسهولة أكثر من الاستخدامات اللافلزية حيث تم استعراض الاستخدامات الفلزية حسب فلز بعينه أو مجموعة من الفلزات، أما الاستخدامات اللافلزية فهى أكثر تنوعا وتشعبا من الاستخدامات الفلزية ولذلك يصعب حصرها، وقد كان من الممكن إضافة عدد كبير من الاستخدامات اللافلزية الأخرى مثل إنتاج الأسمنت بأنواعه أو الطوب ومواد البناء الأخرى مثل أحجار التكسية والزينة والرخام أو أحجار الرصف أو مواد الجلخ والصنفرة أو الطفلات بأنواعها وخلافه، وهى كلها من المصادر والخامات المعدنية، ولكن لاشك أن ما تم استعراضه يبن بوضوح أهمية المعادن فى حياة الإنسان، وهذا هو محور الاهتمام فى جولتنا فى مملكة المعادن.

ومن هذا المنطلق نستطيع أن نستشعر الأهمية القصوى للمصادر المعدنية في التنمية وفي تقدم الحضارة البشرية لأي دولة بصفة خاصة وفي العالم أجمع بصفة عامة، لذلك وجب على الإنسان أن يحافظ على هذه المصادر المعدنية ويعمل على استغلالها الاستغلال الأمثل بعيدا عن الإهدار أو الإفراط؛ فالمصادر المعدنية مهما كانت كثيرة ومتوافرة فهي محدودة، والمثل الشعبي يقول "خد من التل يختل" لذلك وجب أن يكون استغلال المصادر المعدنية بتعقل لكي نترك للأجيال القادمة ما يلبي احتياجاتهم، صحيح أن التقدم العلمي والتكنولوجي يسمح باستمرار بالكشف عن مصادر جديدة لم تكن معروفة من قبل، ويعطي الإنسان القدرة على الوصول إلى أعماق أكثر توغلا في القشرة الأرضية؛ ففي الوقت الحالي هناك مناجم تستخرج بعض الخامات المعدنية على أعماق تصل إلى حوالي ١٠ كيلومترات، إلا أن المصادر المعدنية محدودة وغير متجددة، لأنها تكونت على مدى أزمنة جيولوجية تقدر بملايين أو عشرات الملايين من السنين، ولكن استغلال الإنسان لها يمتد عبر آلاف السنين فقط، لذلك ليس في مقدور العمليات الجيولوجية البطيئة تعويض ما يستخدمه الإنسان منها. وهنا تظهر أهمية الجيولوجيا وأفرع علوم الأرض الأخرى في المحافظة على مصادر الثروة المعدنية وتنميتها والكشف عن المزيد منها وفتح الآفاق لمصادر جديدة لم تكن مستغلة من قبل. وهنا أيضا يجب أن نلاحظ أن معدل استغلال الثروات المعدنية يتسارع مع الزمن، مثلا بلغ ما استخدم من المصادر المعدنية العالمية خلال الفترة بين الحربين العالميتين أكثر مما استخدم خلال التاريخ البشري كله قبل الحرب الأولى، ولا شك أن ما استخدم من المصادر المعدنية بعد الحرب الثانية يفوق كثيرا كل ما استخدم خلال كل التاريخ

البشرى قبلها، وهكذا يمضى التسارع في استغلال الثروات المعدنيــة ليواكـب الزيادة فى تعداد سكان العالم والتقدم الحضارى المعتمد على المعادن.

وأخيرا عزيزى القارىء، وقبل أن أختم لقائى معك فى جولتنـا فـى مملكـة المعادن على أمل لقاءات أخرى، أود أن أطرح عليك سؤالا، فلقـد أشـرت فـى مقدمة الكتاب إلى أن المعادن تحتل فى نفسى منزلة خاصــة، وأننـى أصبـو أن تصل المعادن إلى نفس المنزلـة لديك أيضـا بعـد قراءتك لهـذا الكتـاب، فهـل تراني قد نجحت في هذه المهمة؟

المراجع

لا شك أن كل ما قرأته عن المعادن منذ بداية دراستى للجيولوجيا فى الخمسينات يعتبر مرجعا لهذا الكتاب، ولكنى سأقتصر هنا على المراجع التى كنت أستعين بها خلال فترة إعداده.

أولا: المراجع العربية:

الجمعية العربية للتعدين والبترول ١٩٩٣:
المؤتمر العلمى السنوى ٤٨، تنمية الثروات المعدنية فى العالم العربى، ١٨-١٩٩٣/١/٢٠، القاهرة، جمهورية مصر العربية.

محمد عبده يمانى ١٩٨٦:
الجيولوجيا الاقتصادية والثروة المعدنية فى المملكة العربية السعودية: الطبعة الثالثة، شركة المدينة المنورة للطباعة والنشر، جدة، المملكة العربية السعودية.

محمد سميح عافية وأحمد عمران منصور ١٩٧٧:
تنمية الموارد المعدنية فى الوطن العربى: المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، معهد البحوث والدراسات العربية، مركز التنمية الصناعية للدول العربية، دار نافع للطباعة والنشر.

محمد عز الدين حلمى ١٩٧٧:
علم المعادن: التحريرة الرابعة، مكتبة الأنجلو المصرية، القاهرة جمهورية مصر العربية.

ممدوح عبد الغفور حسن ١٩٧٧:
الرواسب المعدنية: مكتبة الأنجلو المصرية، القاهرة، جمهورية مصر العربية.

ممدوح عبد الغفور حسن ١٩٩٥:
الأسلحة النووية ومعاهدة عدم انتشارها: الشركة العربية للنشر والتوزيع، القاهرة.

ممدوح عبد الغفور حسن ١٩٩٦:
الطاقة النووية لخدمة البشرية: الشركة العربية للنشر والتوزيع، القاهرة.

منشورات وكالة الوزارة لشئون الثروة المعدنية السعودية:
جدة، المملكة العربية السعودية.

ثانيا: المراجع الانجليزية:

Bateman, A.M. 1950.
Economic Mineral Deposits, 2nd ed.: John Wiley & Sons Inc., New York.

Carr, D.D. and Herz, N. (eds.) 1989.
Concise Encyclopedia of Mineral Resources: Pergamon Press, Oxford.

Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J. 1966.
An Introduction to the Rock-Forming Minerals: John Wiley and Sons, Inc., New York.

Deputy Ministry for Mineral Resources 1983.
Saudi Arabian Mineral Resources Annual Report, Jiddah, Saudi Arabia.

Hurlbut, C.S. Jr. 1955.
Dana's Manual of Mineralogy, 16th ed.: John Wiley & Sons, Inc., New York.

Jones, W.R. 1955.
Minerals in Industry: Penguin Books, London.

Lamey, C.L. 1966.
Metallic and Industrial Mineral Deposits: McGraw- Hill Book Company, New York.

Mining Annual Review 1988.
Mining Journal Ltd., London.

Wolf, J. A. 1984.
Mineral Resources, A World Review: Chapman and Hall, New York.

قائمة المحتويات

الموضوع	الصفحة



